

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年5月1日 (01.05.2003)

PCT

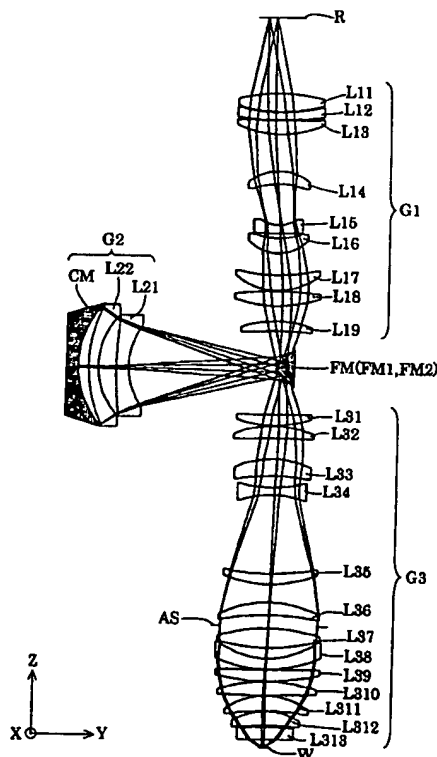
(10) 国際公開番号
WO 03/036361 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 13/24, 13/14, 1/02, 17/08, H01L 21/027, G03F 7/20
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/10454
- (22) 国際出願日: 2002年10月8日 (08.10.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2001-321463
2001年10月19日 (19.10.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘 (OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048 東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

[続葉有]

(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS HAVING THE PROJECTION OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置



(57) Abstract: A projection optical system having good optical performance without being substantially affected by birefringence even though an optical material having an intrinsic birefringence is used. The projection optical system forms the image on a first surface (R) on a second surface (W). Out of the transparent members constituting the projection optical system, 90% or more of the transparent members are made of crystals of cubic system. Out of all the transparent members, 70% or more of them satisfy the condition $P_n/E_n < 0.7$ where P_n is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each crystal transparent member and E_n is the effective diameter of each crystal transparent member, and the 70% or more of the transparent members are so arranged that the optical axis of each transparent member substantially agrees with the crystal axis [100].

[続葉有]

WO 03/036361 A1



WO03036361

Bibli: Patent Drawing



PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS HAVING THE PROJECTION OPTICAL SYSTEM

Patent Number: WO03036361
 Publication date: 2003-05-01
 Inventor(s): OMURA YASUHIRO (JP)
 Applicant(s): OMURA YASUHIRO (JP); NIPPON KOGAKU KK (JP)
 Requested Patent: ☐ WO03036361
 Application Number: WO2002JP10454 20021008
 Priority Number(s): JP20010321463 20011019
 IPC Classification: G02B13/24; G02B13/14; G02B17/08; H01L21/027; G03F7/20
 EC Classification: G02B17/08
 Equivalents:
 Cited Documents: EP0942297; JP2000128696; JP11021197; EP1115019; JP7072393; EP1114802; EP1063684

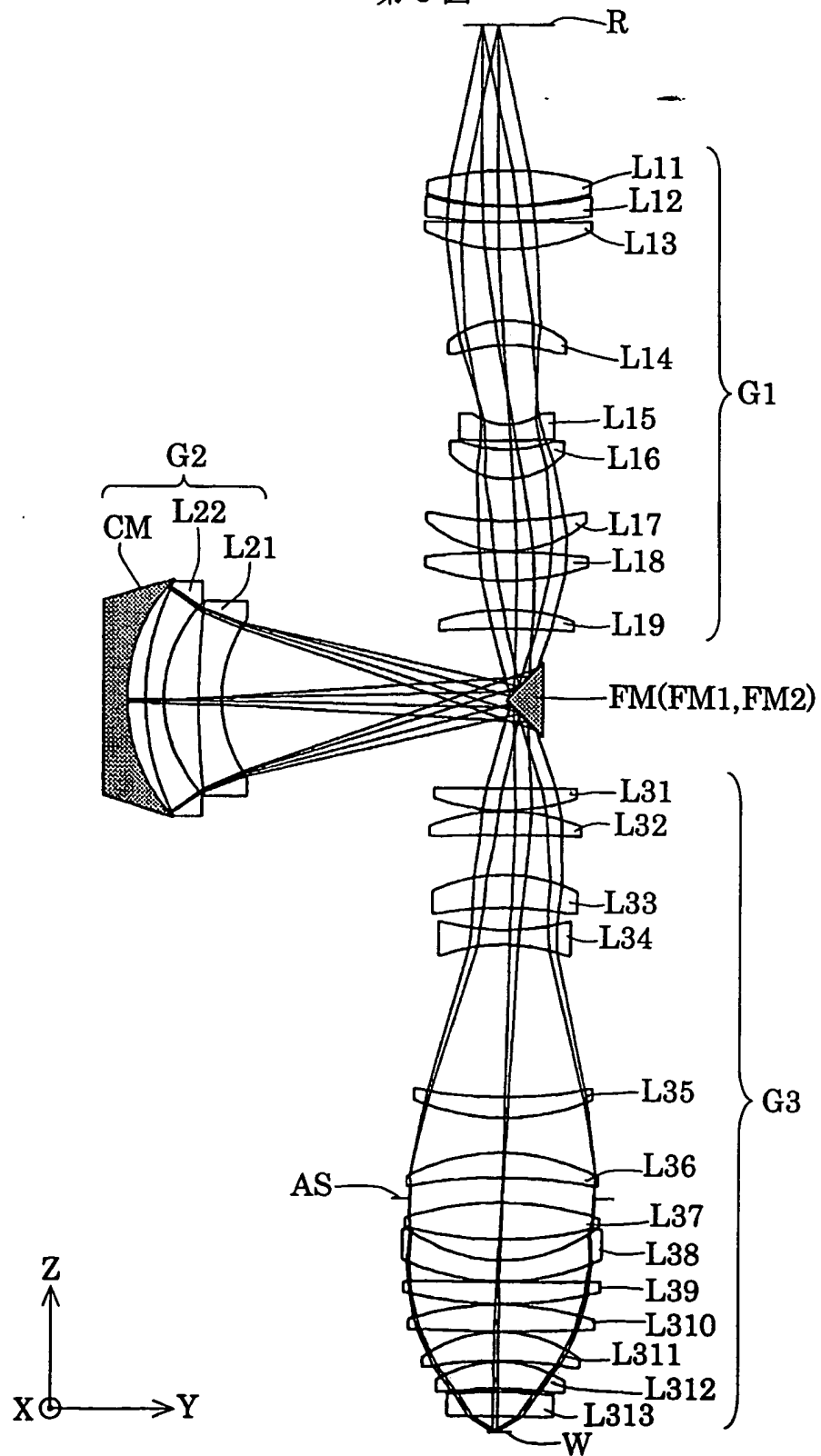
Abstract

A projection optical system having good optical performance without being substantially affected by birefringence even though an optical material having an intrinsic birefringence is used; The projection optical system forms the image on a first surface ∥ on a second surface ∥W∥ Out of the transparent members constituting the projection optical system; 90% or more of the transparent members are made of crystals of cubic system; Out of all the transparent members; 70% or more of them satisfy the condition $P_n \cdot \sin \theta_n < 0$; where P_n is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each crystal transparent member and θ_n is the effective diameter of each crystal transparent member; and the 70% or more of the transparent members are so arranged that the optical axis of each transparent member substantially agrees with the crystal axis [100];

Data supplied from the esp@cenet database - I2

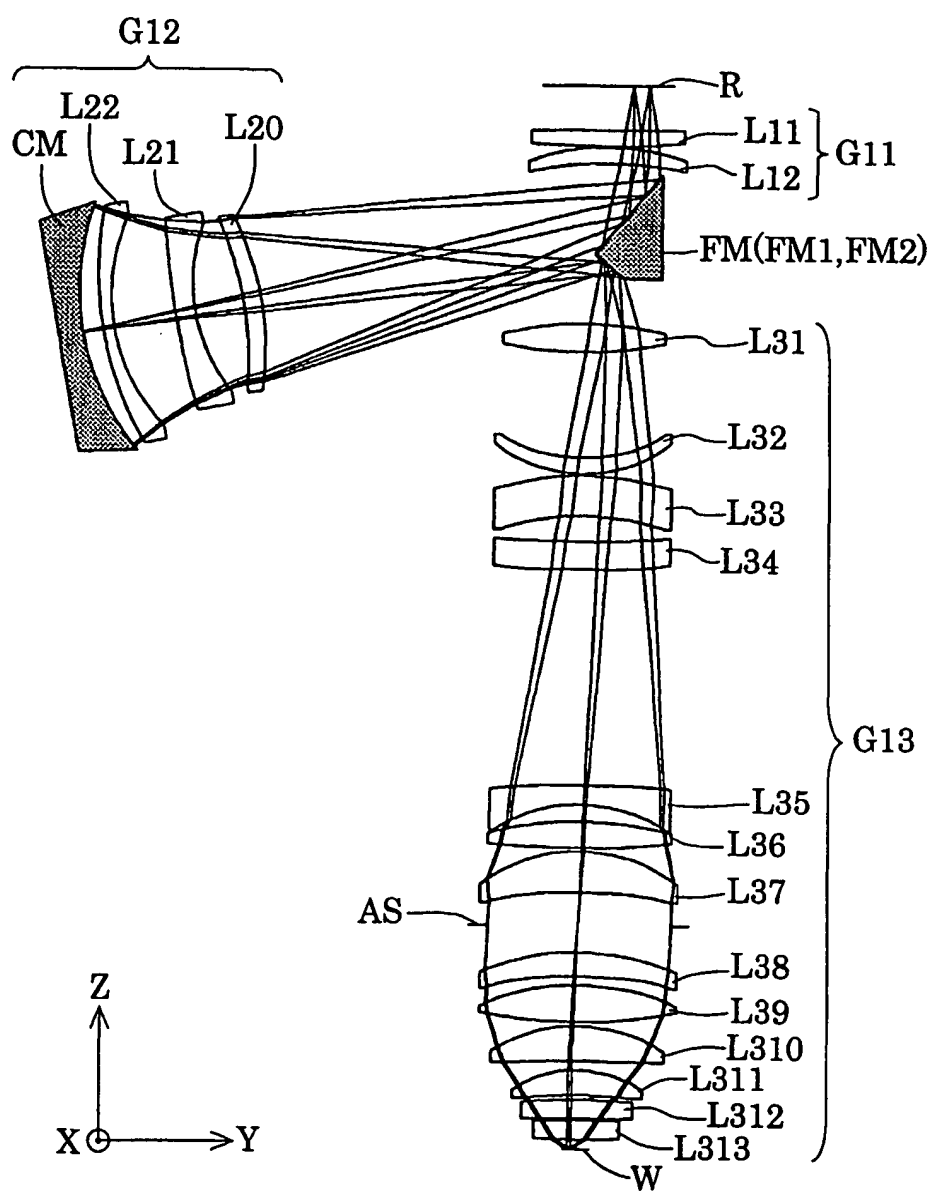
6 / 1 1

第 6 図



8 / 1 1

第 8 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10454

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet (1)

where D21 is the center thickness of the first negative lens L21 and D22 is the center thickness of the second negative lens L22.

The inventions of claims 6, 7 are the ones of independent claims referring to claim 5.

5. The invention of claim 8 relates to a projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface, and the first lens group has two transparent members in which the preset directions of specific crystal axes are substantially different.

The invention of claim 9 relates to a projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface along the linear optical axis.

a first-order intermediate image of the first surface is formed in the optical path between the second and third lens groups, and the first lens group has at least two transparent members made of the crystals.

Claims 10-12 are independent ones referring to any of claim 8 or 9.

Claims 13-15 are independent ones referring to any of claims 1-12.

However, the technique of fabricating 90% or more of all the transparent members constituting a projection optical system from crystals of cubic system is publicly known without especially citing prior art documents, and there are no technical features considered to be special technical features common to the groups 1., 2., 3., and (4 and 5).

The projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the (continued to extra sheet)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10454

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface is a conventionally known technique as disclosed in JP 2000-47114 A (Carl Zeiss Stiftung), 2000.02.18. Therefore, there are no common technical features considered to be special technical features among the groups 4. and 5.

Therefore, there are no common technical features among the groups of inventions within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence. Consequently, the groups of inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

Therefore, the groups of inventions do not comply with the requirement of unity of invention.

WO03036361

Publication Title:

PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS HAVING THE PROJECTION OPTICAL SYSTEM

Abstract:

A projection optical system having good optical performance without being substantially affected by birefringence even though an optical material having an intrinsic birefringence is used. The projection optical system forms the image on a first surface R on a second surface W. Out of the transparent members constituting the projection optical system, 90% or more of the transparent members are made of crystals of cubic system. Out of all the transparent members, 70% or more of them satisfy the condition $P_n/E_n < 0.7$ where P_n is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each crystal transparent member and E_n is the effective diameter of each crystal transparent member, and the 70% or more of the transparent members are so arranged that the optical axis of each transparent member substantially agrees with the crystal axis [100].

Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年5月1日 (01.05.2003)

PCT

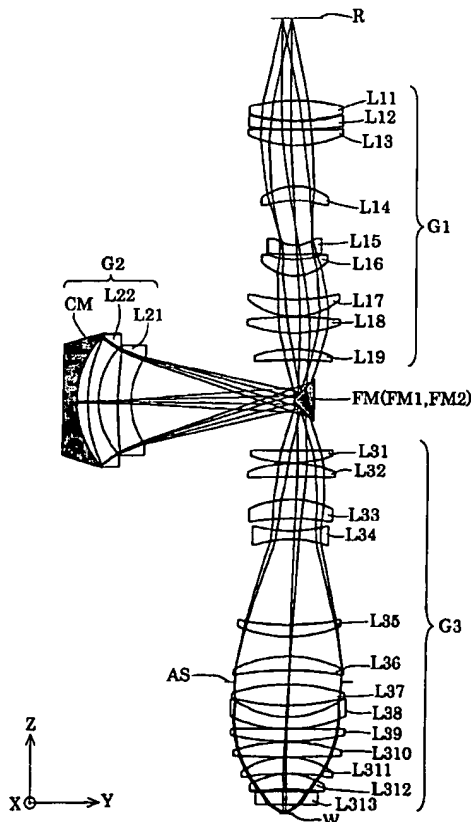
(10) 国際公開番号
WO 03/036361 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 13/24, 13/14, 1/02, 17/08, H01L 21/027, G03F 7/20 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/10454 (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘 (OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2002年10月8日 (08.10.2002) (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048 東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2001-321463
2001年10月19日 (19.10.2001) JP

[続葉有]

(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS HAVING THE PROJECTION OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置



(57) Abstract: A projection optical system having good optical performance without being substantially affected by birefringence even though an optical material having an intrinsic birefringence is used. The projection optical system forms the image on a first surface (R) on a second surface (W). Out of the transparent members constituting the projection optical system, 90% or more of the transparent members are made of crystals of cubic system. Out of all the transparent members, 70% or more of them satisfy the condition $Pn/En < 0.7$ where Pn is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each crystal transparent member and En is the effective diameter of each crystal transparent member, and the 70% or more of the transparent members are so arranged that the optical axis of each transparent member substantially agrees with the crystal axis [100].

[続葉有]



DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系。第 1 面 (R) の像を第 2 面 (W) 上に形成する投影光学系。投影光学系を構成する透過部材の総数の 90 % 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成されている。第 1 面上の 1 点から出た光束が結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、 $P_n / E_n < 0.7$ の条件式を満足する結晶透過部材の総数の 70 % 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されている。

- 1 -

明 細 書

投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置

技術分野

本発明は、投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置に関し、特に半導体素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものであり、特に反射屈折型の投影光学系に関するものである。

背景技術

近年、半導体素子の製造や半導体チップ実装基板の製造では、微細化がますます進んでおり、パターンを焼き付ける露光装置ではより解像力の高い投影光学系が要求されてきている。この高解像の要求を満足するには、露光光を短波長化するとともに、NA（投影光学系の開口数）を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスの種類が限られてくる。

たとえば波長が200nm以下の真空紫外域の光、特にF₂レーザ光（波長157nm）を露光光として用いる場合、投影光学系を構成する光透過性光学材料としては、フッ化カルシウム（蛍石：CaF₂）やフッ化バリウム（BaF₂）等のフッ化物結晶を多用せざるを得ない。実際には、露光光としてF₂レーザ光を用いる露光装置では、基本的に蛍石だけで投影光学系を形成する設計が想定されている。蛍石は、立方晶系に属する結晶であり、光学的には等方的で、複屈折が実質的にないと思われていた。また、従来の可視光域の実験では、蛍石について小さい複屈折（内部応力起因のランダムなもの）しか観測されていなかった。

しかしながら、2001年5月15日に開かれたリソグラフィに関するシンポジウム（2nd International Symposium on 157nm Lithography）において、米国NISTのJohn H. Burnettらにより、蛍石には固有複屈折（intrinsic

birefringence) が存在することを実験および理論の両面から確認したことが発表された。

この発表によれば、蛍石の複屈折は、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ 方向およびこれと等価な結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$, $[1\ -1\ 1]$, $[1\ 1\ -1]$ 方向、並びに結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ 方向およびこれと等価な結晶軸 $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$ 方向ではほぼ零であるが、その他の方向では実質的に零でない値を有する。特に、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$, $[-1\ 1\ 0]$, $[1\ 0\ 1]$, $[-1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ 1]$, $[0\ 1\ -1]$ の6方向では、波長 157 nm に対して最大で 6.5 nm/cm 、波長 193 nm に対して最大で 3.6 nm/cm の複屈折の値を有する。

これらの複屈折の値はランダムな複屈折の許容値とされる 1 nm/cm よりも実質的に大きい値であり、しかもランダムでない分だけ複数のレンズを通して複屈折の影響が蓄積する可能性がある。従来技術では、投影光学系の設計において蛍石の複屈折性を考慮していないので、加工の容易さなどの観点から結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ と光軸とを一致させるのが一般的である。この場合、投影光学系では、 NA (開口数) が比較的大きいため、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ からある程度傾いた光線もレンズを通過するので、複屈折の影響により結像性能が悪化する可能性がある。

発明の開示

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を提供することを目的とする。

また、本発明では、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する本発明の投影光学系を用いて、高解像で高精度な投影露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、複数の透過部材を含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n < 0.7$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 70% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 2 発明では、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n > 0.9$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 60% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 3 発明では、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記結晶で形成された結晶透過部材の総数の 20% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置され、且つ 250 mm 以下の有効直径を有することを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 1 乃至第 3 発明の投影光学系は、少なくとも 1 つの反射鏡を含むことが好ましい。

本発明の第 4 発明では、複数の透過部材と少なくとも 1 つの反射鏡とを含み、

第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90 % 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 レンズ群と、

前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 反射面と、

前記第 1 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第 2 レンズ群と、

前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 2 反射面と、

前記第 2 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 3 レンズ群とを備え、

前記往復光学系は、前記結晶で形成された第 1 負レンズ L 2 1 と、前記結晶で形成されて前記第 1 負レンズ L 2 1 と前記凹面反射鏡との間の光路中に配置された第 2 負レンズ L 2 2 とを有し、

前記第 1 負レンズ L 2 1 の中心厚を D 2 1 とし、前記第 2 負レンズ L 2 2 の中心厚を D 2 2 とするとき、

$$1.2 < D 2 1 / D 2 2 < 2.0$$

の条件式を満足することを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 5 発明では、複数の透過部材と少なくとも 1 つの反射鏡とを含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90 % 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 レンズ群と、

前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 反射面と、

前記第 1 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第 2 レンズ群と、

前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 2 反射面と、

前記第 2 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 3 レンズ群とを備え、

前記第 1 レンズ群は、ある特定の結晶軸の設定方向が実質的に異なる 2 つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 6 発明では、複数の透過部材と少なくとも 1 つの反射鏡とを含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90 % 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 レンズ群と、

前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 反射面と、

前記第 1 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第 2 レンズ群と、

前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 2 反射面と、

前記第 2 反射面と前記第 2 面との間の光路中に直線状の光軸に沿って配置された第 3 レンズ群とを備え、

前記第 2 レンズ群と前記第 3 レンズ群との間の光路中に前記第 1 面の一次中間像が形成されるように構成され、

前記第 1 レンズ群は、前記結晶で形成された少なくとも 2 つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 7 発明では、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90 % 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n < 0.7$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 70 % 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 8 発明では、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n > 0.9$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 60% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 9 発明では、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記結晶で形成された結晶透過部材の総数の 20% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置され、且つ 250 mm 以下の有効直径を有することを特徴とする投影光学系を提供する。

本発明の第 10 発明では、前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための第 1 発明～第 9 発明の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

本発明の第 11 発明では、前記第 1 面に設定されたマスクを照明し、第 1 発明～第 9 発明の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

- 7 -

第1図は、蛍石の結晶軸方位について説明する図である。

第2A図～第2C図は、Burnettらの手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

第3A図～第3C図は、本発明の手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

第4図は、本発明の実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第5図は、ウエハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

第6図は、第1実施例にかかる投影光学系PLのレンズ構成を示す図である。

第7図は、第1実施例における横収差を示す図である。

第8図は、第2実施例にかかる投影光学系PLのレンズ構成を示す図である。

第9図は、第2実施例における横収差を示す図である。

第10図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第11図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

第1図は、蛍石の結晶軸方位について説明する図である。第1図を参照すると、蛍石の結晶軸は、立方晶系のXYZ座標系に基づいて規定される。すなわち、+X軸に沿って結晶軸[100]が、+Y軸に沿って結晶軸[010]が、+Z軸に沿って結晶軸[001]がそれぞれ規定される。

また、XZ平面において結晶軸[100]および結晶軸[001]と45度をなす方向に結晶軸[101]が、XY平面において結晶軸[100]および結晶軸[010]と45度をなす方向に結晶軸[110]が、YZ平面において結晶軸[010]および結晶軸[001]と45度をなす方向に結晶軸[011]がそれぞれ規定される。さらに、+X軸、+Y軸および+Z軸に対して等しい鋭角

をなす方向に結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ が規定される。

なお、第1図では、+X軸、+Y軸および+Z軸で規定される空間における結晶軸のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶軸が規定される。前述したように、蛍石では、第1図中実線で示す結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ 方向、およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$, $[1\ -1\ 1]$, $[1\ 1\ -1]$ 方向では、複屈折がほぼ零（最小）である。

同様に、第1図中実線で示す結晶軸 $[1\ 0\ 0]$, $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$ 方向においても、複屈折がほぼ零（最小）である。一方、第1図中破線で示す結晶軸 $[1\ 1\ 0]$, $[1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ 1]$, およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-1\ 1\ 0]$, $[-1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ -1]$ 方向では、複屈折が最大である。

ところで、Burnett らは前述の発表において、複屈折の影響を低減する手法を開示している。第2A図～第2C図は、Burnett らの手法を説明する図であって、光線の入射角（光線と光軸とのなす角度）に対する複屈折率の分布を示している。第2A図～第2C図では、図中破線で示す5つの同心円が1目盛り10度を表している。したがって、最も内側の円が光軸に対して入射角10度の領域を、最も外側の円が光軸に対して入射角50度の領域を表している。

また、黒丸は比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域を、白丸は比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域を表している。一方、太い円および長い両矢印は複屈折のある領域における比較的大きな屈折率の方向を、細い円および短い両矢印は複屈折のある領域における比較的小さな屈折率の方向を表している。以降の第3A図～第3C図においても、上述の表記は同様である。

Burnett らの手法では、一对の蛍石レンズ（蛍石で形成されたレンズ）の光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを約60度だけ相対的に回転させる。したがって、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第2A図に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第2B図に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、第2C図に示すようになる。

この場合、第2A図および第2B図を参照すると、光軸と一致している結晶軸

[1 1 1] に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 [1 0 0], [0 1 0], [0 0 1] に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 [1 1 0], [1 0 1], [0 1 1] に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的小さく径方向の偏光に対する屈折率が比較的大きい複屈折領域となる。このように、個々の蛍石レンズでは、光軸から 35.26 度（結晶軸 [1 1 1] と結晶軸 [1 1 0] とのなす角度）の領域において、複屈折の影響を最大に受けることがわかる。

一方、第 2 C 図を参照すると、一对の蛍石レンズを 60 度だけ相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 [1 1 0], [1 0 1], [0 1 1] の影響が薄められることがわかる。そして、光軸から 35.26 度の領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が小さい複屈折領域が残ることになる。換言すれば、Burnett らの手法を用いることにより、光軸に関して回転対称な分布が残るが、複屈折の影響をかなり低減することができる。

また、本発明の手法では、一对の蛍石レンズ（一般には蛍石で形成された透過部材）の光軸と結晶軸 [1 0 0]（または該結晶軸 [1 0 0] と光学的に等価な結晶軸）とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを約 45 度だけ相対的に回転させる。ここで、結晶軸 [1 0 0] と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸 [0 1 0], [0 0 1] である。

第 3 A 図～第 3 C 図は、本発明の手法を説明する図であって、光線の入射角（光線と光軸とのなす角度）に対する複屈折率の分布を示している。本発明の手法では、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第 3 A 図に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第 3 B 図に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、第 3 C 図に示すようになる。

第 3 A 図および第 3 B 図を参照すると、本発明の手法では、光軸と一致している結晶軸 [1 0 0] に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のな

い領域となる。また、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$, $[1\ -1\ 1]$, $[-1\ 1\ -1]$, $[1\ 1\ -1]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[1\ 0\ 1]$, $[1\ 0\ -1]$, $[1\ 1\ 0]$, $[1\ -1\ 0]$ に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく径方向の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。このように、個々の蛍石レンズでは、光軸から 45 度（結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ と結晶軸 $[1\ 0\ 1]$ とのなす角度）の領域において、複屈折率の影響を最大に受けることがわかる。

一方、第 3 C 図を参照すると、一对の蛍石レンズを 45 度だけ相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[1\ 0\ 1]$, $[1\ 0\ -1]$, $[1\ 1\ 0]$, $[1\ -1\ 0]$ の影響がかなり薄められ、光軸から 45 度の領域において径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が高い複屈折領域が残ることになる。換言すれば、本発明の手法を用いることにより、光軸に関して回転対称な分布が残るが、複屈折の影響をかなり低減することができる。

なお、本発明の手法において、一方の蛍石レンズと他方の蛍石レンズとを光軸を中心として約 45 度だけ相対的に回転させるとは、一方の蛍石レンズおよび他方の蛍石レンズにおける光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ 1]$ または $[0\ 1\ -1]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度が約 45 度であることを意味する。具体的には、たとえば一方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ と、他方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ との光軸を中心とした相対的な角度が約 45 度であることを意味する。

また、第 3 A 図および第 3 B 図からも明らかな通り、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が 90 度の周期で現れる。したがって、本発明の手法において、光軸を中心として約 45 度だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心として約 45 度 + ($n \times 90$ 度) だけ相対的に回転させること、すなわち 45 度、135 度、225 度、または 315 度・・・だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 n は整数

である)。

一方、Burnett らの手法において、一方の蛍石レンズと他方の蛍石レンズとを光軸を中心として約 60 度だけ相対的に回転させるとは、一方の蛍石レンズおよび他方の蛍石レンズにおける光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ 、 $[1\ 1\ -1]$ 、または $[1\ -1\ 1]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度が約 60 度であることを意味する。具体的には、たとえば一方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ と、他方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ との光軸を中心とした相対的な角度が約 60 度であることを意味する。

また、第 2 A 図および第 2 B 図からも明らかな通り、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が 120 度の周期で現れる。したがって、Burnett らの手法において、光軸を中心として約 60 度だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心として約 60 度 + ($n \times 120$ 度) だけ相対的に回転させること、すなわち 60 度、180 度、または 300 度・・・だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 n は整数である）。

上述の説明の通り、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを 60 度だけ相対的に回転させることにより、あるいは一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを 45 度だけ相対的に回転させることにより、光軸に関して回転対称な分布が残るが、複屈折の影響をかなり低減することができる。

ここで、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させて 60 度相対回転させたときに残存する回転対称な分布と、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させて 45 度相対回転させたときに残存する回転対称な分布とは逆向きである。換言すれば、光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させて 60 度相対回転させた一对の蛍石レンズ（以下、「結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ のペアレンズ」という）における進相軸と、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させて 45 度相対回転さ

せた一对の蛍石レンズ（以下、「結晶軸 $[100]$ のペアレンズ」という）における進相軸とは直交する。なお、試料に複屈折が存在する場合、屈折率の差により当該試料を通過する振動面（偏光面）の直交した2つの直線偏光の光の位相が変化する。すなわち一方の偏光に対して他方の偏光の位相が進んだり遅れたりすることになるが、位相が進む方の偏光方向を進相軸と呼び、位相が遅れる方の偏光方向を遅相軸と呼ぶ。

したがって、結晶軸 $[111]$ のペアレンズと結晶軸 $[100]$ のペアレンズとを組み合わせることにより、残存する回転対称な分布をも小さく抑えることができる。前述したように、たとえば露光光として F_2 レーザ光を用いる露光装置では、多数の蛍石レンズを用いて投影光学系を構成することになるので、蛍石の複屈折の影響をできるだけ低減するには、結晶軸 $[111]$ のペアレンズと結晶軸 $[100]$ のペアレンズとを組み合わせる用いることが必須である。

現在のところ、光軸と結晶軸 $[100]$ とが一致する大口径レンズを製造することが困難である。したがって、光軸と結晶軸 $[100]$ とを一致させる構成は、小口径レンズに対して採用することが必要である。換言すれば、投影光学系の場合、物体面または像面（最終像面および中間像面）の近傍に配置された比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸 $[100]$ とを一致させる構成を採用し、瞳面の近傍に配置された比較的口径の大きいレンズ群に光軸と結晶軸 $[111]$ とを一致させる構成を採用することが望ましい。

さらに、結晶軸 $[111]$ のペアレンズおよび結晶軸 $[100]$ のペアレンズにおいて、軸上物点（光軸上の物点）から出た光に対して複屈折の影響は回転対称になるが、軸外物点（光軸から離れた物点）から出た光に対して複屈折の影響は回転対称にならない。特に、結晶軸 $[111]$ のペアレンズを使用する場合、奇数回回転対称な奇数 θ 成分（たとえば3回回転対称な 3θ 成分）が発生し易い。これに対し、結晶軸 $[100]$ のペアレンズを使用する場合、偶数回回転対称な偶数 θ 成分（たとえば4回回転対称な 4θ 成分）が発生し易い。

一般に、リソグラフィでは、偶数 θ 成分よりも奇数 θ 成分の方がレジスト像に悪影響を及ぼすことが知られている。したがって、物体面または像面の近傍にお

いて結晶軸 [1 1 1] のペアレンズを使用すると、発生する奇数 θ 成分に起因して像面内（露光装置では露光エリア内）での結像性能のばらつきが大きくなる。一方、物体面または像面の近傍において結晶軸 [1 0 0] のペアレンズを使用すると、偶数 θ 成分は発生するが、発生する偶数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。さらに、投影光学系の瞳面の近傍であれば、結晶軸 [1 1 1] のペアレンズを使用しても結晶軸 [1 0 0] のペアレンズを使用しても、発生する奇数 θ 成分や偶数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

第1発明～第4発明では、投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が、たとえば蛍石のような立方晶系に属する結晶で形成されている。そして、第1発明では、次の条件式(1)を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材（結晶で形成された透過部材）の総数の70%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 [1 0 0] とがほぼ一致するように配置されている。

$$P_n/E_n < 0.7 \quad (1)$$

ここで、 E_n は、結晶透過部材の有効直径（すなわち露光装置の場合には露光エリア全体から出た光束が結晶透過部材の各面に入射したときの光束に外接する円の直径）である。また、 P_n は、物体面（第1面）上の1点から出た光束が結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径（以下、「部分径」という）である。したがって、条件式(1)を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材は、物体面または像面（第2面および中間像面）の近傍に配置されている結晶透過部材に他ならない。

こうして、第1発明では、物体面または像面の近傍に配置されている結晶透過部材のうちある程度の部分（70%以上）の結晶透過部材において、その光軸と結晶軸 [1 0 0] とをほぼ一致させていることになる。したがって、第1発明では、物体面または像面の近傍に配置された比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸 [1 0 0] とを一致させる構成を採用しているので、大口径レンズに適用することが困難な結晶軸 [1 0 0] のペアレンズの製造が容易になる。また、物

体面または像面の近傍において結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズを使用することができるので、前述したように偶数 θ 成分は発生するが、発生する偶数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

その結果、第1発明の投影光学系では、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することができる。なお、第1発明において当該結晶透過部材が物体面または像面の近傍に配置されていることをさらに厳密に限定するには、条件式(1)の上限値を0.6に設定することが好ましい。

一方、第2発明では、次の条件式(2)を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の60%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸〔1 1 1〕とがほぼ一致するように配置されている。

$$P_n/E_n > 0.9 \quad (2)$$

したがって、条件式(2)を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材は、投影光学系の瞳面の近傍に配置されている結晶透過部材に他ならない。こうして、第2発明では、瞳面の近傍に配置されている結晶透過部材のうちある程度の部分(60%以上)の結晶透過部材において、その光軸と結晶軸〔1 1 1〕とをほぼ一致させていることになる。したがって、第2発明では、瞳面の近傍に配置された比較的口径の大きいレンズ群に光軸と結晶軸〔1 1 1〕とを一致させる構成を採用しているので、ひいては比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸〔1 0 0〕とを一致させる構成を採用することになり、結果として大口径レンズに適用することが困難な結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズの製造が容易になる。また、物体面または像面の近傍においてではなく、瞳面の近傍において結晶軸〔1 1 1〕のペアレンズを使用するので、前述したように奇数 θ 成分は発生するが、発生する奇数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

その結果、第2発明の投影光学系においても、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することができる。なお、第2発明において結晶

透過部材が瞳面の近傍に配置されていることをさらに厳密に限定するには、条件式(2)の下限値を0.94に設定することが好ましい。

第3発明では、結晶透過部材の総数の20%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸[100]とがほぼ一致するように配置され、且つ250mm以下の有効直径を有する。前述したように、たとえば露光光としてF₂レーザ光を用いる露光装置では、多数の蛍石レンズを用いて投影光学系を構成することになるので、蛍石の複屈折の影響をできるだけ低減するには、1組または複数組の結晶軸[100]のペアレンズを用いることが必須である。また、前述したように、結晶軸[100]のペアレンズを大口径レンズに適用することは製造上の観点から困難である。

第3発明では、全体の20%以上の相当数の結晶透過部材に対して、しかも250mm以下の有効直径を有する比較的小口径の結晶透過部材に対して、結晶軸[100]のペアレンズを適用することができるので、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することができる。

第4発明では、第1面から光の入射する順に、第1レンズ群と、第1反射面と、凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、第2反射面と、第3レンズ群とを備えている。また、往復光学系は、第1面から光の入射する順に、結晶で形成された第1負レンズL21と、結晶で形成された第2負レンズL22とを有する。

このように、反射屈折型の投影光学系では、色収差補正と像面湾曲補正（ペッツバル和の補正）とを目的とした一对の負レンズが凹面反射鏡の近傍に配置される。しかしながら、収差補正の目的のために、この一对の負レンズを通過する光線の光軸に対する角度は比較的大きく、さらにこの一对の負レンズが往復光学系を構成するため、この一对の負レンズによる複屈折の影響は大きくなり易い。このとき、複屈折の影響をできるだけ低減するには、第1負レンズL21と第2負レンズL22とで、結晶軸[100]のペアレンズまたは結晶軸[111]のペアレンズを構成することが必要である。

以上の観点より、第4発明では、第1負レンズL 2 1および第2負レンズL 2 2が次の条件式(3)を満足する。なお、条件式(3)において、D 2 1は第1負レンズL 2 1の中心厚であり、D 2 2は第2負レンズL 2 2の中心厚である。

$$1.2 < D 2 1 / D 2 2 < 2.0 \quad (3)$$

一般に、2つのレンズで結晶軸[1 0 0]のペアレンズまたは結晶軸[1 1 1]のペアレンズを構成する場合、2つのレンズの中心厚が互いにほぼ等しいことが必要である。しかしながら、第1負レンズL 2 1の負屈折力により、第1負レンズL 2 1を通過する光線の光軸に対する角度よりも第2負レンズL 2 2を通過する光線の光軸に対する角度の方が大きくなるので、第2負レンズL 2 2の中心厚D 2 2よりも第1負レンズL 2 1の中心厚D 2 1の方を大きく設定することが必要になる。

こうして、第4発明では、第1負レンズL 2 1の中心厚D 2 1と第2負レンズL 2 2の中心厚D 2 2との関係を規定している条件式(3)を満足することにより、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することができる。なお、第4発明の効果をさらに良好に発揮するには、条件式(3)の上限値を1.9に設定し、その下限値を1.3に設定することが好ましい。

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

第4図は、本発明の実施形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第4図において、ウエハWの法線方向にZ軸を、Z軸に垂直な面内において第4図の紙面に平行にY軸を、Z軸に垂直な面内において第4図の紙面に垂直にX軸を設定している。本実施形態では、反射屈折型の投影光学系を備えた走査型の投影露光装置に本発明を適用している。

第4図を参照すると、本実施形態の露光装置は、第1面に配置されるレチクル(マスク)Rを照明するための照明装置51を備えている。照明装置51は、たとえば157nmの波長光を供給するF₂レーザーを有する光源、この光源からの光により所定形状(円形状、輪帯状、二極状、四極状など)の二次光源を形成するオプティカルインテグレータ、レチクルR上での照射範囲を規定するための

照明視野絞りなどを有し、レチクルR上の照明領域をほぼ均一な照度分布のもとで照明する。

ここで、照明装置51内の照明光路は不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態では窒素でパージしている。レチクルRはレチクルステージ53上に載置されており、レチクルRおよびレチクルステージ53はケーシング52によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング52の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態では窒素でパージしている。

照明装置51により照明されたレチクルRからの光は、反射屈折型の投影光学系PLを介して、感光性基板としてのウエハWへ導かれ、ウエハW上の露光領域内にレチクルRのパターン像を形成する。投影光学系PLは、鉛直方向に沿った第1光軸AX1と、これに交差する第2光軸AX2とを有する。投影光学系PL内の投影光路も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態ではヘリウムでパージしている。

ウエハWは、その表面が投影光学系PLの像面としての第2面に位置決めされるようにウエハステージ61上に載置されており、ウエハWおよびウエハステージ61はケーシング62によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング62の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態では窒素でパージしている。そして、レチクルステージ53とウエハステージ61とを投影光学系PLの倍率に応じた速度比で投影光学系PLに対して走査方向であるY方向に沿って相対的に移動させつつ、レチクルRを照明することにより、ウエハW上の露光領域内にレチクルR上のパターンが転写される。

第5図は、ウエハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と光軸との位置関係を示す図である。第5図に示すように、本実施形態では、光軸AX1を中心とした半径Bを有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、光軸AX1から-Y方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLX（Ew）であり、そのY方向の長さはLYである。

換言すると、本実施形態では、ウエハWにおいて、光軸AX1から-Y方向に

軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定され、光軸AX1を中心として実効露光領域ERを包括するように円形状のイメージサークルIFの半径Bが規定されている。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルR上では、光軸AX1から-Y方向に軸外し量Aに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されていることになる。

以下、具体的な数値に基づく実施例を説明する。各実施例において、投影光学系を構成するすべての透過部材（屈折光学部材：レンズ成分）には蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、露光光である F_2 レーザー光の発振中心波長は157.6nmであり、157.6nm付近において CaF_2 の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -2.6×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+2.6 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、157.6nm付近において、 CaF_2 の屈折率の分散（ $dn/d\lambda$ ）は、 $2.6 \times 10^{-6}/\text{pm}$ である。

したがって、各実施例において、中心波長157.6nmに対する CaF_2 の屈折率は1.55930666であり、 $157.6\text{nm} + 1\text{pm} = 157.601\text{nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は1.55930406であり、 $157.6\text{nm} - 1\text{pm} = 157.599\text{nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は1.55930926である。

また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）をzとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数を κ とし、n次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式（a）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に*印を付している。

$$z = (y^2/r) / \{1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}\} \\ + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} \\ + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \quad (a)$$

[第1実施例]

第6図は、第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。なお、第1実施例では、波長幅が $157.6\text{ nm} \pm 1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された反射屈折型の投影光学系に本発明を適用している。

第1実施例の投影光学系PLは、第6図に示すように、第1面に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系（第1レンズ群）G1と、凹面反射鏡CMと2つの負レンズL21, L22とから構成されて第2中間像（第1中間像のほぼ等倍像であってレチクルパターンの2次像）を形成するための第2結像光学系（第2レンズ群）G2と、第2中間像からの光に基づいて第2面に配置されたウエハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第3結像光学系（第3レンズ群）G3とから構成されている。

なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中において第1中間像の形成位置の近傍には、第1結像光学系G1からの光を第2結像光学系G2に向かって偏向するための第1光路折り曲げ鏡FM1が配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中において第2中間像の形成位置の近傍には、第2結像光学系G2からの光を第3結像光学系G3に向かって偏向するための第2光路折り曲げ鏡FM2が配置されている。第1中間像および第2中間像は、第1光路折り曲げ鏡FM1と第2結像光学系G2との間の光路中および第2結像光学系G2と第2光路折り曲げ鏡FM2との間の光路中にそれぞれ形成される。

また、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3はともに、直線状に延びた単一の光軸すなわち基準光軸AX1を有する。基準光軸AX1は、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクルRおよびウエハWは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第1結像光学系G1を構成するすべてのレンズおよび第3結像光学系G3を構成するすべてのレンズも、基準光軸AX1上において水平面に沿って配置されている。

一方、第2結像光学系G2も直線状に延びた光軸AX2を有し、この光軸AX2は基準光軸AX1と直交するように設定されている。さらに、第1光路折り曲げ鏡FM1および第2光路折り曲げ鏡FM2はともに平面状の反射面（第1反射面および第2反射面）を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡FM）として一体的に構成されている。この2つの反射面の交線（厳密にはその仮想延長面の交線）が第1結像光学系G1および第3結像光学系G3の光軸AX1および第2結像光学系G2の光軸AX2と一点で交わるように設定されている。

第1実施例の投影光学系では、屈折光学系である第1結像光学系G1および第3結像光学系G3で生じる色収差および正值のペッツパール和を、第2結像光学系G2の凹面反射鏡CMおよび負レンズL21、L22により補償している。また、第2結像光学系G2がほぼ等倍の結像倍率を有する構成により、第1中間像の近傍に第2中間像を形成することが可能となっている。

第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL13と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL14と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、両凸レンズL18と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL19とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡CMとから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、両凸レンズL31と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL32と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた両凹レンズL34と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メ

ニスカスレンズL 3 5 と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 6 と、開口絞りA S と、両凸レンズL 3 7 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 8 と、レチクル側に平面を向けた平凸レンズL 3 9 と、両凸レンズL 3 1 0 と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 1 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 2 と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL 3 1 3 とから構成されている。

次の第1表に、第1実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。第1表の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウエハ側）開口数を、BはウエハW上でのイメージサークルI Fの半径を、Aは実効露光領域E Rの軸外し量を、L X（E w）は実効露光領域E RのX方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、L Yは実効露光領域E RのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、第1表の光学部材諸元において、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、（C・D）は各蛍石レンズにおいてその光軸と一致する結晶軸Cおよびその他の特定結晶軸の角度位置Dを、 E_n は蛍石レンズの各面の有効直径（mm）を、 P_n は部分径（すなわち物体面上の1点から出た光束が各面に入射するときの光束の直径：mm）をそれぞれ示している。

なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、第1光路折り曲げ鏡F M 1の反射面から凹面反射鏡C Mまでの光路中および第2光路折り曲げ鏡F M 2の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第1結像光学系G 1では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第3結像光学系G 3では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第2結像光学系G 2では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、

凸面の曲率半径を負としている。

また、角度位置Dは、結晶軸Cが結晶軸 $[111]$ であるとき、たとえば結晶軸 $[-111]$ の基準方位に対する角度であり、結晶軸Cが結晶軸 $[100]$ であるとき、たとえば結晶軸 $[010]$ の基準方位に対する角度である。ここで、基準方位とは、たとえばレチクル面において光軸AX1を通るように任意に設定された方位に対して光学的に対応するように定義されるものである。具体的には、レチクル面において+Y方向に基準方位を設定した場合、第1結像光学系G1における基準方位は+Y方向であり、第2結像光学系G2における基準方位は+Z方向（レチクル面における+Y方向に光学的に対応する方向）であり、第3結像光学系G3における基準方位は-Y方向（レチクル面における+Y方向に光学的に対応する方向）である。

したがって、たとえば $(C \cdot D) = (100 \cdot 0)$ は、光軸と結晶軸 $[100]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[010]$ が基準方位に沿って配置されていることを意味する。また、 $(C \cdot D) = (100 \cdot 45)$ は、光軸と結晶軸 $[100]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[010]$ が基準方位に対して45度をなすように配置されていることを意味する。すなわち、 $(C \cdot D) = (100 \cdot 0)$ の蛍石レンズと $(C \cdot D) = (100 \cdot 45)$ の蛍石レンズとは、結晶軸 $[100]$ のレンズペアを構成していることになる。

また、たとえば $(C \cdot D) = (111 \cdot 0)$ は、光軸と結晶軸 $[111]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[-111]$ が基準方位に沿って配置されていることを意味する。また、 $(C \cdot D) = (111 \cdot 60)$ は、光軸と結晶軸 $[111]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[-111]$ が基準方位に対して60度をなすように配置されていることを意味する。すなわち、 $(C \cdot D) = (111 \cdot 0)$ の蛍石レンズと $(C \cdot D) = (111 \cdot 60)$ の蛍石レンズとは、結晶軸 $[111]$ のレンズペアを構成していることになる。

なお、上述の角度位置Dの説明において、基準方位の設定はすべてのレンズに対して共通である必要はなく、たとえば各レンズペアの単位で共通であればよい。また、基準方位に対する角度計測の対象となる特定結晶軸は、結晶軸 $[100]$

のレンズペアの場合に結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ に限定されることなく、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ のレンズペアの場合に結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ に限定されることなく、たとえば各レンズペアの単位で適当に設定可能である。

第1表

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6\text{ nm}$$

$$\beta = -0.25$$

$$NA = 0.845$$

$$B = 13.7\text{ mm}$$

$$A = 3\text{ mm}$$

$$LX(Ew) = 22\text{ mm}$$

$$LY = 5\text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	(C・D)	En	Pn	
	(レチクル面)	172.1769		109.6	0.0	
1	400.0235	41.8662	(100・0)	188.9	75.2	(L 1 1)
2	-347.1859	1.0000		190.5	82.8	
3*	-600.0000	18.0000	(100・0)	190.1	83.1	(L 1 2)
4	-750.0000	1.0000		193.2	86.4	
5	-3025.0000	32.5027	(100・45)	193.5	86.8	(L 1 3)
6	-234.6874	85.1493		194.3	91.0	
7	113.4563	30.0000	(111・0)	136.7	91.9	(L 1 4)
8*	149.1516	96.6080		122.9	84.1	
9	-73.6173	20.0000	(111・60)	85.3	65.6	(L 1 5)
10	-989.6932	10.7493		110.6	71.4	
11	-160.7004	35.0000	(111・0)	113.2	73.5	(L 1 6)
12	-95.3602	50.7412		132.9	84.1	

- 24 -

13	-424.3704	37.0769	(100 • 0)	179.4	85.5	(L 1 7)
14	-146.7977	1.0000		187.1	88.3	
15	776.8772	34.7330	(100 • 45)	189.7	86.3	(L 1 8)
16	-288.5244	35.5981		189.1	80.8	
17	247.7452	23.2315	(100 • 0)	157.1	62.4	(L 1 9)
18*	1266.8867	86.0000		149.9	54.1	
19	∞	-344.3312				(FM 1)
20*	160.0000	-28.0000	(111 • 60)	181.8	181.2	(L 2 1)
21	1039.6240	-41.9146		220.8	220.6	
22	170.0000	-22.0000	(111 • 0)	226.6	226.3	(L 2 2)
23	320.1540	-23.0904		279.2	274.3	
24	214.3847	23.0904		283.0	278.6	(CM)
25	320.1540	22.0000	(111 • 0)	280.0	274.3	(L 2 2)
26	170.0000	41.9146		233.4	226.3	
27	1039.6240	28.0000	(111 • 60)	231.4	220.6	(L 2 1)
28*	160.0000	344.3312		194.5	181.3	
29	∞	-107.9714				(FM 2)
30	-35622.5326	-27.1721	(100 • 0)	161.3	66.0	(L 3 1)
31	255.2732	-1.0000		167.2	74.9	
32	-235.1006	-29.1962	(100 • 45)	177.9	77.7	(L 3 2)
33	-3051.6986	-48.5453		176.7	81.1	
34	-199.4066	-40.0000	(100 • 45)	169.4	92.7	(L 3 3)
35	-459.7296	-27.0927		158.2	91.4	
36*	287.3970	-18.0000	(100 • 0)	154.1	92.6	(L 3 4)
37	-220.0062	-184.2361		151.4	96.7	
38*	800.0000	-25.0000	(111 • 0)	203.3	185.7	(L 3 5)
39	281.6929	-42.3986		209.0	193.2	
40	-245.7289	-29.9440	(111 • 0)	224.5	223.7	(L 3 6)

- 25 -

41*	-751.7736	-25.0557		221.8	221.7	
42	∞	-5.0000		222.1	221.8	(A S)
43	-377.9882	-44.5303	(111 · 0)	227.8	221.9	(L 3 7)
44	465.0394	-24.9317		226.2	218.8	
45	190.2750	-25.0000	(111 · 60)	225.2	215.9	(L 3 8)
46	290.8465	-1.0000		234.0	220.9	
47	∞	-26.0925	(111 · 60)	231.0	215.1	(L 3 9)
48	511.4816	-1.0000		230.0	212.7	
49	-359.2933	-31.7546	(100 · 0)	217.8	199.2	(L 3 1 0)
50	3025.0000	-1.0000		211.6	190.5	
51	-159.8173	-35.0702	(100 · 45)	184.8	166.3	(L 3 1 1)
52*	-692.0711	-1.0000		171.5	148.8	
53	-144.3846	-32.5926	(100 · 45)	150.3	130.9	(L 3 1 2)
54	-556.7937	-3.9828		129.6	104.8	
55	-864.1658	-30.0000	(100 · 0)	123.3	97.0	(L 3 1 3)
56	∞	-19.0000		87.4	60.0	
	(ウエハ面)			27.4	0.0	

(非球面データ)

3 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.602153 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.642542 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.372433 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.480060 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.144795 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0.574983 \times 10^{-30}$$

8 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.226135 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.397050 \times 10^{-11}$$

- 26 -

$$C_8 = 0.311311 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.167278 \times 10^{-19}$$

$$C_{12} = -0.535643 \times 10^{-22} \quad C_{14} = 0.453868 \times 10^{-26}$$

18面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.106013 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.208393 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.763337 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.158517 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 0.257865 \times 10^{-24} \quad C_{14} = -0.158940 \times 10^{-28}$$

20面 (28面と同一面)

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.168137 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.321045 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.110295 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.142977 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -0.385364 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 0.281223 \times 10^{-29}$$

36面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.566421 \times 10^{-9} \quad C_6 = -0.144281 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.407549 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.150420 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.144722 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 0.210351 \times 10^{-28}$$

38面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.243329 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.432744 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.401074 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.447378 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.131322 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 0.666740 \times 10^{-30}$$

41面

- 27 -

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.146733 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.142452 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.104738 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.566175 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.213308 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0.143968 \times 10^{-30}$$

5 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.338977 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.585831 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.436295 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.477058 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 0.125962 \times 10^{-24} \quad C_{14} = -0.112458 \times 10^{-29}$$

(条件式対応値)

$$D21 = 28 \text{ mm}$$

$$D22 = 22 \text{ mm}$$

$$(1) Pn/En = 0.40, 0.43 (L11)$$

$$Pn/En = 0.44, 0.45 (L12)$$

$$Pn/En = 0.45, 0.47 (L13)$$

$$Pn/En = 0.67, 0.68 (L14)$$

$$Pn/En = 0.65, 0.63 (L16)$$

$$Pn/En = 0.48, 0.47 (L17)$$

$$Pn/En = 0.46, 0.43 (L18)$$

$$Pn/En = 0.40, 0.36 (L19)$$

$$Pn/En = 0.41, 0.45 (L31)$$

$$Pn/En = 0.44, 0.46 (L32)$$

$$Pn/En = 0.55, 0.58 (L33)$$

$$(2) Pn/En = 1.00, 1.00 (L21)$$

$$Pn/En = 1.00, 0.98 (L22)$$

$$Pn/En = 0.91, 0.92 (L35)$$

$$P_n/E_n = 1.00, 1.00 \text{ (L36)}$$

$$P_n/E_n = 0.97, 0.97 \text{ (L37)}$$

$$P_n/E_n = 0.96, 0.94 \text{ (L38)}$$

$$P_n/E_n = 0.93, 0.93 \text{ (L39)}$$

$$P_n/E_n = 0.91, 0.90 \text{ (L310)}$$

$$(3) D_{21}/D_{22} = 1.273$$

第7図は、第1実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は157.6nm+1pm=157.601nmを、一点鎖線は157.6nm-1pm=157.599nmをそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第1実施例では、波長幅が157.6nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

[第2実施例]

第8図は、第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。なお、第2実施例においても、波長幅が157.6nm±1pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された反射屈折型の投影光学系に本発明を適用している。

第2実施例の投影光学系PLは、第8図に示すように、2つのレンズL11およびL12からなる第1レンズ群G11と、凹面反射鏡CMと3つのレンズL20～L22とからなる第2レンズ群G12と、13個のレンズL31～L313からなる第3レンズ群G13とから構成されている。ここで、第1レンズ群G11と第2レンズ群G12とは、第1面に配置されたレチクルRのパターンの中間像を形成するための結像光学系を構成している。また、第3レンズ群G13は、中間像からの光に基づいて第2面に配置されたウエハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための結像光学系を構成している。

なお、第1レンズ群G11と第2レンズ群G12との間の光路中には、第1レンズ群G11からの光を第2レンズ群G12に向かって偏向するための第1光路

折り曲げ鏡FM1が配置されている。また、第2レンズ群G12と第3レンズ群G13との間の光路中において中間像の形成位置の近傍には、第2レンズ群G12からの光を第3レンズ群G13に向かって偏向するための第2光路折り曲げ鏡FM2が配置されている。中間像は、第2レンズ群G12と第2光路折り曲げ鏡FM2との間の光路中に形成される。

また、第1レンズ群G11は直線状に延びた単一の光軸すなわち基準光軸AX1を有し、第3レンズ群G13は直線状に延びた単一の光軸すなわち基準光軸AX3を有する。基準光軸AX1と基準光軸AX3とは互いに平行であり、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクルRおよびウエハWは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第1レンズ群G11を構成するすべてのレンズは基準光軸AX1上において水平面に沿って配置されており、第3レンズ群G13を構成するすべてのレンズは基準光軸AX3上において水平面に沿って配置されている。

一方、第2レンズ群G12も直線状に延びた光軸AX2を有し、この光軸AX2は直角と実質的に異なる所定の角度で基準光軸AX1（基準光軸AX3）と交差するように設定されている。さらに、第1光路折り曲げ鏡FM1および第2光路折り曲げ鏡FM2はともに平面状の反射面（第1反射面および第2反射面）を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡FM）として一体的に構成されている。第2実施例の投影光学系では、屈折光学系である第1レンズ群G11および第3レンズ群G13で生じる色収差および正值のベッツパール和を、第2レンズ群G12の凹面反射鏡CMおよび負レンズL21、L22により補償している。

第1レンズ群G11は、レチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL12とから構成されている。

また、第2レンズ群G12は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL20と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に凹面を向けた

負メニスカスレンズL 2 2と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡CMとから構成されている。

さらに、第3レンズ群G 1 3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、両凸レンズL 3 1と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 2と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 3と、ウエハ側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL 3 4と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 5と、両凸レンズL 3 6と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 7と、開口絞りASと、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 8と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 3 9と、ウエハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 10と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 11と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL 3 12と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL 3 13とから構成されている。

次の第2表に、第2実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。第2表の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウエハ側）開口数を、BはウエハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LX（Ew）は実効露光領域ERのX方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、第2表の光学部材諸元において、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、（C・D）は各蛍石レンズにおいてその光軸と一致する結晶軸Cおよびその他の特定結晶軸の角度位置Dを、Enは蛍石レンズの各面の有効直径（mm）を、Pnは部分径（すなわち物体面上の1点から出た光束が各面に入射するときの光束の直径：mm）をそれぞれ示している。

なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、

面間隔 d の符号は、第 1 光路折り曲げ鏡 $FM1$ の反射面から凹面反射鏡 CM までの光路中および第 2 光路折り曲げ鏡 $FM2$ の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第 1 レンズ群 $G11$ では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第 3 レンズ群 $G13$ では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第 2 レンズ群 $G12$ では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

また、角度位置 D は、結晶軸 C が結晶軸 $[111]$ であるとき、たとえば結晶軸 $[-111]$ の基準方位に対する角度であり、結晶軸 C が結晶軸 $[100]$ であるとき、たとえば結晶軸 $[010]$ の基準方位に対する角度である。ここで、基準方位とは、たとえばレチクル面において光軸 $AX1$ を通るように任意に設定された方位に対して光学的に対応するように定義されるものである。具体的には、レチクル面において $+Y$ 方向に基準方位を設定した場合、第 1 レンズ群 $G11$ における基準方位は $+Y$ 方向であり、第 2 レンズ群 $G12$ における基準方位は YZ 平面内で第 2 レンズ群 $G12$ の光軸に垂直な方向であって $+Z$ 側に向けられた方向（レチクル面における $+Y$ 方向に光学的に対応する方向）であり、第 3 レンズ群 $G13$ における基準方位は $-Y$ 方向（レチクル面における $+Y$ 方向に光学的に対応する方向）である。

したがって、たとえば $(C \cdot D) = (100 \cdot 0)$ は、光軸と結晶軸 $[100]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[010]$ が基準方位に沿って配置されていることを意味する。また、 $(C \cdot D) = (100 \cdot 45)$ は、光軸と結晶軸 $[100]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[010]$ が基準方位に対して 45 度をなすように配置されていることを意味する。すなわち、 $(C \cdot D) = (100 \cdot 0)$ の蛍石レンズと $(C \cdot D) = (100 \cdot 45)$ の蛍石レンズとは、結晶軸 $[100]$ のレンズペアを構成していることになる。

また、たとえば $(C \cdot D) = (111 \cdot 0)$ は、光軸と結晶軸 $[111]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[-111]$ が基準方位に沿って配置

されていることを意味する。また、 $(C \cdot D) = (111 \cdot 60)$ は、光軸と結晶軸 $[111]$ とが一致する蛍石レンズにおいて、その結晶軸 $[-111]$ が基準方位に対して 60 度をなすように配置されていることを意味する。すなわち、 $(C \cdot D) = (111 \cdot 0)$ の蛍石レンズと $(C \cdot D) = (111 \cdot 60)$ の蛍石レンズとは、結晶軸 $[111]$ のレンズペアを構成していることになる。

なお、上述の角度位置 D の説明において、基準方位の設定はすべてのレンズに対して共通である必要はなく、たとえば各レンズペアの単位で共通であればよい。また、基準方位に対する角度計測の対象となる特定結晶軸は、結晶軸 $[100]$ のレンズペアの場合に結晶軸 $[010]$ に限定されることなく、結晶軸 $[111]$ のレンズペアの場合に結晶軸 $[-111]$ に限定されることなく、たとえば各レンズペアの単位で適当に設定可能である。なお、第2表に示す第2実施例にかかる投影光学系において、第1レンズ群 $G11$ の光軸 $AX1$ と第3レンズ群 $G13$ の光軸 $AX3$ とは、第2レンズ群 $G12$ の光軸 $AX2$ に沿った方向において 28 mm だけ離れて設定されている。

第2表

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6\text{ nm}$$

$$\beta = -0.20$$

$$NA = 0.85$$

$$B = 16\text{ mm}$$

$$A = 6\text{ mm}$$

$$LX(Ew) = 25\text{ mm}$$

$$LY = 4\text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	$(C \cdot D)$	E n	P n
	(レチクル面)	55.0000		160.0	0.0
1	-36367.4518	20.0000	$(100 \cdot 0)$	179.0	18.9 (L11)

- 33 -

2	-1062.8043	1.0000		182.6	23.2	
3	280.9165	20.0000	(100 • 45)	187.8	23.6	(L 1 2)
4*	415.2262	95.0000		186.5	27.2	
5	∞	-433.8558				(FM 1)
6	-371.9043	-22.0000	(111 • 0)	215.0	200.3	(L 2 0)
7	-431.3807	-61.1156		211.5	200.3	
8	212.6132	-24.0000	(111 • 60)	211.9	206.4	(L 2 1)
9	1049.8448	-78.7383		235.1	231.0	
10	230.5993	-14.0000	(111 • 0)	264.6	264.0	(L 2 2)
11	409.0076	-25.1705		291.1	291.1	
12	305.0366	25.1705		303.6	303.6	(CM)
13	409.0076	14.0000	(111 • 0)	290.0	290.0	(L 2 2)
14	230.5993	78.7383		261.1	261.1	
15	1049.8448	24.0000	(111 • 60)	229.6	223.6	(L 2 1)
16	212.6132	61.1156		208.4	197.6	
17	-431.3807	22.0000	(111 • 0)	205.6	187.3	(L 2 0)
18	-371.9043	405.8558		207.5	185.6	
19	∞	-97.6805				(FM 2)
20	-426.2770	-35.0000	(100 • 0)	190.1	38.8	(L 3 1)
21	475.3746	-129.7461		193.1	47.0	
22*	223.1752	-20.0000	(100 • 45)	204.1	87.5	(L 3 2)
23	175.3843	-2.0000		211.2	94.0	
24*	-307.4406	-50.0000	(100 • 45)	212.7	97.0	(L 3 3)
25	-320.7051	-31.8616		205.0	99.5	
26	1442.3776	-35.0000	(100 • 0)	206.6	106.4	(L 3 4)
27*	12973.0946	-267.4936		211.4	113.2	
28	-1294.6603	-24.4071	(100 • 0)	217.4	184.0	(L 3 5)
29	-192.7645	-21.1755		214.9	189.3	

- 34 -

30	-443.6804	-33.0735	(100・45)	216.5	197.2	(L 3 6)
31	1121.7631	-3.7878		220.9	204.5	
32	-199.4497	-50.0000	(111・60)	238.9	229.7	(L 3 7)
33*	-696.1940	-40.6353		231.7	224.9	
34	∞	-33.2167		226.9	225.4	(A S)
35	-304.6891	-30.0000	(111・0)	232.3	226.5	(L 3 8)
36*	-851.3806	-10.7098		228.6	220.8	
37*	-328.2837	-44.9842	(111・60)	232.6	220.6	(L 3 9)
38	674.3501	-5.0565		230.1	215.7	
39	-193.3359	-43.4538	(111・0)	204.8	187.9	(L 3 1 0)
40*	-3621.6899	-10.3834		191.8	170.2	
41	-139.4754	-30.5579	(111・60)	153.2	133.1	(L 3 1 1)
42	-572.9507	-5.3048		138.2	111.7	
43	-770.6036	-24.0000	(100・45)	129.4	101.0	(L 3 1 2)
44	∞	-1.5000		103.5	72.9	
45	∞	-24.0000	(100・0)	99.4	68.4	(L 3 1 3)
46	996.9945	-12.0000		70.9	38.5	
	(ウエハ面)			32.0	0.0	

(非球面データ)

4 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.171501 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.289616 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.319359 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.365520 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -0.591578 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0.277385 \times 10^{-30}$$

2 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

- 35 -

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 0.352797 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.326095 \times 10^{-13} \\
 C_8 &= 0.168419 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.178654 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 0.247299 \times 10^{-25} & C_{14} &= 0
 \end{aligned}$$

24面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 0.173821 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.562009 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.290071 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.891793 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= -0.127257 \times 10^{-25} & C_{14} &= 0
 \end{aligned}$$

27面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 0.422508 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.557914 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.186795 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.373550 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 0.825654 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.345254 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

33面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -0.199219 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.205130 \times 10^{-13} \\
 C_8 &= -0.183004 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.133382 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= -0.240936 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.772406 \times 10^{-31}
 \end{aligned}$$

36面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -0.290300 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.721200 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.139940 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.114214 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= 0.416631 \times 10^{-25} & C_{14} &= 0
 \end{aligned}$$

- 36 -

37面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.970779 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.301841 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.530310 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.102259 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 0.710645 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 0$$

40面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.411350 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.188947 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.442046 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.214186 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 0.861492 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 0$$

(条件式対応値)

$$D21 = 24 \text{ mm}$$

$$D22 = 14 \text{ mm}$$

$$(1) P_n/E_n = 0.11, 0.13 \text{ (L11)}$$

$$P_n/E_n = 0.13, 0.15 \text{ (L12)}$$

$$P_n/E_n = 0.20, 0.24 \text{ (L31)}$$

$$P_n/E_n = 0.43, 0.44 \text{ (L32)}$$

$$P_n/E_n = 0.46, 0.49 \text{ (L33)}$$

$$P_n/E_n = 0.51, 0.54 \text{ (L34)}$$

$$P_n/E_n = 0.69, 0.54 \text{ (L313)}$$

$$(2) P_n/E_n = 0.93, 0.95 \text{ (L20)}$$

$$P_n/E_n = 0.97, 0.98 \text{ (L21)}$$

$$P_n/E_n = 1.00, 1.00 \text{ (L22)}$$

$$P_n/E_n = 0.91, 0.93 \text{ (L36)}$$

$$P_n/E_n = 0.96, 0.97 \text{ (L37)}$$

$$P_n/E_n = 0.97, 0.97 \text{ (L38)}$$

$$P_n/E_n = 0.95, 0.94 \text{ (L39)}$$

$$(3) D_{21}/D_{22} = 1.714$$

第9図は、第2実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は $157.6\text{nm} + 1\text{pm} = 157.601\text{nm}$ を、一点鎖線は $157.6\text{nm} - 1\text{pm} = 157.599\text{nm}$ をそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第2実施例においても、波長幅が $157.6\text{nm} \pm 1\text{pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

以上のように、各実施例において、投影光学系PLを構成するすべて(100%)の透過部材が蛍石で形成されている。そして、第1実施例では、入射面および射出面の双方において条件式(1)を満足する蛍石レンズ(L11~L14, L16~L19, L31~L33)の総数は11であり、そのうちの約82%に相当する9個の蛍石レンズ(L11~L13, L17~L19, L31~L33)において、その光軸と結晶軸[100]とが一致するように配置されている。

このように、第1実施例では、物体面(レチクル面)または像面(中間像形成面およびウエハ面)の近傍に配置された比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸[100]とを一致させる構成を採用しているため、大口径レンズに適用することが困難な結晶軸[100]のペアレンズの製造が容易になる。また、物体面または像面の近傍において結晶軸[100]のペアレンズを使用することができるので、前述したように偶数 θ 成分は発生するが、発生する偶数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

また、第1実施例では、入射面および射出面の双方において条件式(2)を満足する蛍石レンズ(L21~L22, L35~L310)の総数は8であり、そのうちの約88%に相当する7個の蛍石レンズ(L21~L22, L35~L39)において、その光軸と結晶軸[111]とが一致するように配置されている。

このように、第1実施例では、瞳面(レンズL15の付近、凹面反射鏡CM, 開口絞りAS)の近傍に配置された比較的口径の大きいレンズ群に光軸と結晶軸

〔1 1 1〕とを一致させる構成を採用しているのも、ひいては比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸〔1 0 0〕とを一致させる構成を採用することになり、結果として大口径レンズに適用することが困難な結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズの製造が容易になる。また、物体面または像面の近傍においてではなく、瞳面の近傍において結晶軸〔1 1 1〕のペアレンズを使用するので、前述したように奇数 θ 成分は発生するが、発生する奇数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

さらに、第1実施例では、蛍石レンズの総数は24であり、そのうちの約58%に相当する14個の蛍石レンズ（L11～L13，L17～L19，L31～L34，L310～L313）は、その光軸と結晶軸〔1 0 0〕とがほぼ一致するように配置され、且つ250mm以下の有効直径を有する。こうして、第1実施例では、全体の相当数の蛍石レンズに対して、しかも250mm以下の有効直径を有する比較的小口径の蛍石レンズに対して、結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズを適用することができるので、蛍石の複屈折の影響を有効に低減することができる。

また、第1実施例では、凹面反射鏡CMの近傍に配置された一对の負レンズL21とL22とで結晶軸〔1 1 1〕のペアレンズを構成し、負レンズL21の中心厚D21と負レンズL22の中心厚D22とが条件式（3）を満足しているので、蛍石の複屈折の影響を有効に低減することができる。

一方、第2実施例では、入射面および射出面の双方において条件式（1）を満足する蛍石レンズ（L11～L12，L31～L34，L313）の総数は7であり、そのうちの100%に相当する7個の蛍石レンズ（L11～L12，L31～L34，L313）において、その光軸と結晶軸〔1 0 0〕とが一致するように配置されている。

このように、第2実施例においても、物体面（レチクル面）または像面（中間像形成面およびウエハ面）の近傍に配置された比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸〔1 0 0〕とを一致させる構成を採用しているのも、大口径レンズに適用することが困難な結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズの製造が容易になる。また、

物体面または像面の近傍において結晶軸〔100〕のペアレンズを使用することができるので、前述したように偶数 θ 成分は発生するが、発生する偶数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

また、第2実施例では、入射面および射出面の双方において条件式(2)を満足する蛍石レンズ(L20～L22, L36～L39)の総数は7であり、そのうちの約86%に相当する6個の蛍石レンズ(L20～L22, L35～L39)において、その光軸と結晶軸〔111〕とが一致するように配置されている。

このように、第2実施例においても、瞳面(凹面反射鏡CM, 開口絞りAS)の近傍に配置された比較的口径の大きいレンズ群に光軸と結晶軸〔111〕とを一致させる構成を採用しているので、ひいては比較的口径の小さいレンズ群に光軸と結晶軸〔100〕とを一致させる構成を採用することになり、結果として大口径レンズに適用することが困難な結晶軸〔100〕のペアレンズの製造が容易になる。また、物体面または像面の近傍においてではなく、瞳面の近傍において結晶軸〔111〕のペアレンズを使用するので、前述したように奇数 θ 成分は発生するが、発生する奇数 θ 成分に起因して像面内での結像性能のばらつきが大きくなることはない。

さらに、第2実施例では、蛍石レンズの総数は18であり、そのうちの約56%に相当する10個の蛍石レンズ(L11～L12, L31～L36, L312～L313)は、その光軸と結晶軸〔100〕とがほぼ一致するように配置され、且つ250mm以下の有効直径を有する。こうして、第2実施例においても、全体の相当数の蛍石レンズに対して、しかも250mm以下の有効直径を有する比較的小口径の蛍石レンズに対して、結晶軸〔100〕のペアレンズを適用することができるので、蛍石の複屈折の影響を有効に低減することができる。

また、第2実施例においても、凹面反射鏡CMの近傍に配置された一对の負レンズL21とL22とで結晶軸〔111〕のペアレンズを構成し、負レンズL21の中心厚D21と負レンズL22の中心厚D22とが条件式(3)を満足している所以、蛍石の複屈折の影響を有効に低減することができる。

なお、第2実施例の第1レンズ群G11では、一对のレンズL11とL12と

で結晶軸〔1 0 0〕のペアレンズを構成しているが、レンズL 1 1の光軸と一致する結晶軸とレンズL 1 2の光軸と一致する結晶軸とが互いに異なるように適宜設定することにより、蛍石の複屈折の影響を有効に低減することも可能である。

また、第1実施例および第2実施例では、光軸に関して回転対称な非球面を導入しているが、非回転対称な非球面形状を有する光学面を少なくとも1面導入することが好ましい。この場合、蛍石の複屈折による波面収差悪化のうち、3回回転対称成分などの偏光成分に因らず発生する収差については、非回転対称な非球面の作用により補正することができる。なお、第1および第2実施例では、蛍石の固有複屈折の値として、2001年7月18日に開かれたリソグラフィに関するシンポジウム(International-SEMATECH Calcium Fluoride Birefringence Workshop)において、米国N I S T(National Institute of Standards and Technology)の John H. Burnett らによって発表された値を用いている。

なお、上述の実施形態では、複屈折性の光学材料として蛍石を用いているが、これに限定されることなく、他の一軸性結晶、たとえばフッ化バリウム(BaF_2)、フッ化リチウム(LiF)、フッ化ナトリウム(NaF)、フッ化ストロンチウム(SrF_2)などを用いることもできる。この場合、フッ化バリウム(BaF_2)などの結晶軸方位も本発明に従って決定されることが好ましい。

また、上記の実施形態にかかる投影光学系の複数の透過部材としては、フッ化カルシウムやフッ化バリウムなどの立方晶系に属し且つ160nm以下の波長の光に対して透過性を有する材料の他に、フッ素や水素等がドーブされて160nm以下の波長の光に対して透過性を有する改質石英を用いることができる。このような改質石英で形成された透過部材は、例えば第1面と投影光学系との間の光路中および投影光学系と第2面との間の光路中に配置されて投影光学系内をほぼ密封状態に保つためのパージ窓として使用可能である。

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、

本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第10図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第10図のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウエハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第11図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第11図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現

像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 4 0 2 へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程 4 0 2 では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 4 0 2 の後に、セル組み立て工程 4 0 3 が実行される。セル組み立て工程 4 0 3 では、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 4 0 3 では、例えば、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程 4 0 4 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

なお、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、157 nm の波長光を供給する F₂ レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば 193 nm の波長光を供給する ArF エキシマレーザー光源や、126 nm の波長光を供給する Ar₂ レーザー光源、146 nm の波長光を供給する Kr₂ レーザー光源などを用いることもできる。

産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明では、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を実現することができる。したがって、本発明では、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する本発明の投影光学系を用いた露光装置および露光方法において、高解像で高精度な投影露光を行うことができる。また、本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 複数の透過部材を含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n/E_n < 0.7$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の70%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

2. 複数の透過部材を含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n/E_n > 0.9$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の60%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

3. 複数の透過部材を含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記結晶で形成された結晶透過部材の総数の20%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸〔100〕とがほぼ一致するように配置され、且つ250mm以下の有効直径を有することを特徴とする投影光学系。

4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項に記載の投影光学系において、少なくとも1つの反射鏡を含むことを特徴とする投影光学系。

5. 複数の透過部材と少なくとも1つの反射鏡とを含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された第1レンズ群と、

前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、

前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、

前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、

前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に配置された第3レンズ群とを備え、

前記往復光学系は、前記結晶で形成された第1負レンズL21と、前記結晶で形成されて前記第1負レンズL21と前記凹面反射鏡との間の光路中に配置された第2負レンズL22とを有し、

前記第1負レンズL21の中心厚をD21とし、前記第2負レンズL22の中心厚をD22とするとき、

$$1.2 < D21/D22 < 2.0$$

の条件式を満足することを特徴とする投影光学系。

6. 請求の範囲第5項に記載の投影光学系において、

前記第1負レンズL21と前記第2負レンズL22とは、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致し、他の結晶軸が前記光軸を中心として約60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

7. 請求の範囲第5項に記載の投影光学系において、

前記第1負レンズL21と前記第2負レンズL22とは、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致し、他の結晶軸が前記光軸を中心として約45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

8. 複数の透過部材と少なくとも1つの反射鏡とを含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された第1レンズ群と、

前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、

前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、

前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、

前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に配置された第3レンズ群とを備え、

前記第1レンズ群は、ある特定の結晶軸の設定方向が実質的に異なる2つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系。

9. 複数の透過部材と少なくとも1つの反射鏡とを含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された第1レンズ群と、

前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、

前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、

前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、

前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に直線状の光軸に沿って配置された第3レンズ群とを備え、

前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間の光路中に前記第1面の一次中間像が形成されるように構成され、

前記第1レンズ群は、前記結晶で形成された少なくとも2つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系。

10. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記第1レンズ群は、光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致し、且つ他の結晶軸が前記光軸を中心として約45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置された一对の透過部材を有することを特徴とする投影光学系。

11. 請求の範囲第8項乃至第10項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記第1レンズ群は、光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致し、且つ他の結晶軸が前記光軸を中心として約60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置された一对の透過部材を有することを特徴とする投影光学系。

12. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記第1レンズ群は、光軸とほぼ一致する結晶軸が互いに異なる一对の透過部材を有することを特徴とする投影光学系。

13. 請求の範囲第1項乃至第12項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

非回転対称な非球面形状を有する少なくとも1つの光学面が設けられていることを特徴とする投影光学系。

14. 前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、

前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための請求の範囲第1項乃至第13項のいずれか1項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

15. 前記第1面に設定されたマスクを照明し、請求の範囲第1項乃至第13項のいずれか1項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

補正書の請求の範囲

[2003年03月10日(10.03.03)国際事務局受理:新しい請求の範囲13-19が加えられた。出願当初の請求の範囲13-15は請求の範囲20-22に番号が付け替えられた。他の請求の範囲は変更なし(4頁)]

13. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n < 0.7$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の70%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

14. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n < 0.6$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の70%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

15. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n と

するとき、

$$P_n / E_n > 0.9$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の60%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸〔1 1 1〕とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

16. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第1面上の1点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n と

するとき、

$$P_n / E_n > 0.94$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の60%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸〔1 1 1〕とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

17. 請求の範囲第8項または第9項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記結晶で形成された結晶透過部材の総数の20%以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸〔1 0 0〕とがほぼ一致するように配置され、且つ250mm以下の有効直径を有することを特徴とする投影光学系。

18. 複数の透過部材を含み、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n < 0.6$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 70% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

19. 複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n / E_n > 0.94$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数の 60% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

20. 請求の範囲第 1 項乃至第 19 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系において、

非回転対称な非球面形状を有する少なくとも 1 つの光学面が設けられていることを特徴とする投影光学系。

21. 前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、

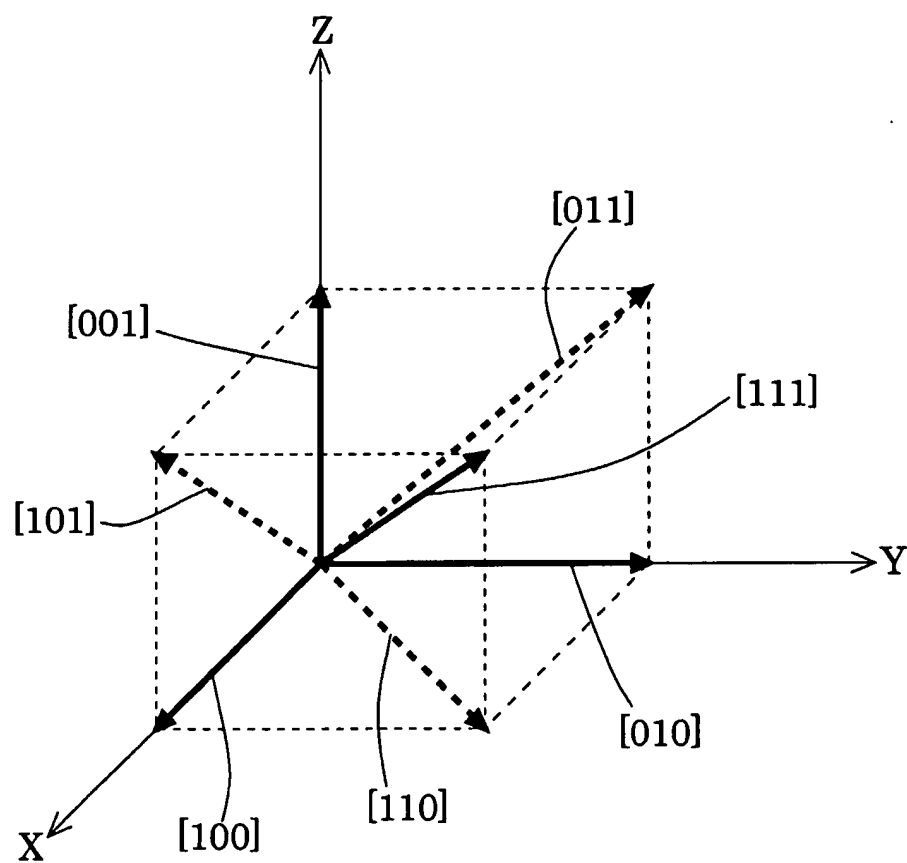
前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための請求の範囲第 1 項乃至第 20 項のいずれか 1 項に記載の投影光

学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

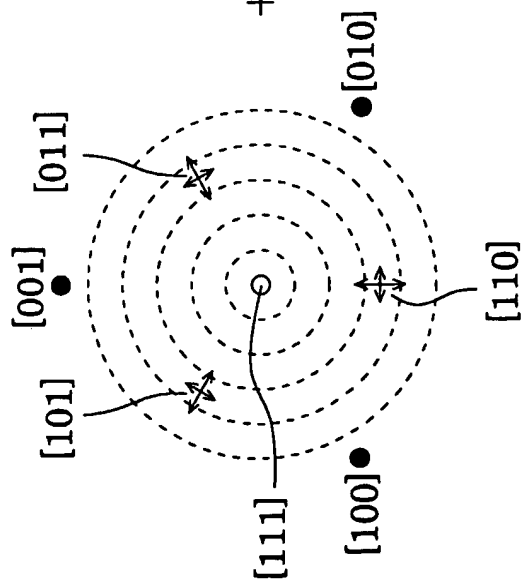
22. 前記第1面に設定されたマスクを照明し、請求の範囲第1項乃至第20項のいずれか1項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

$1 / 1 1$

第 1 図

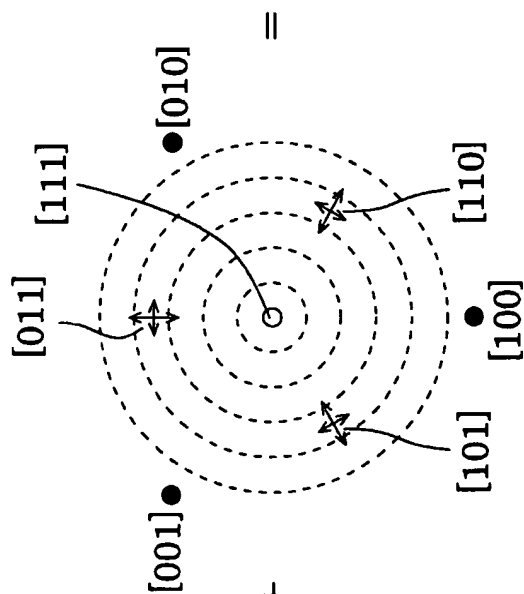


第 2 A 図



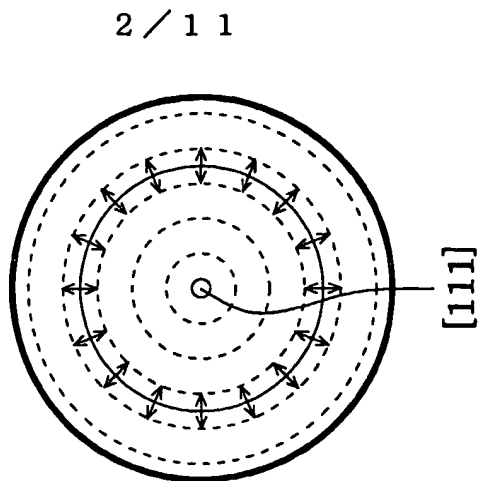
+

第 2 B 図



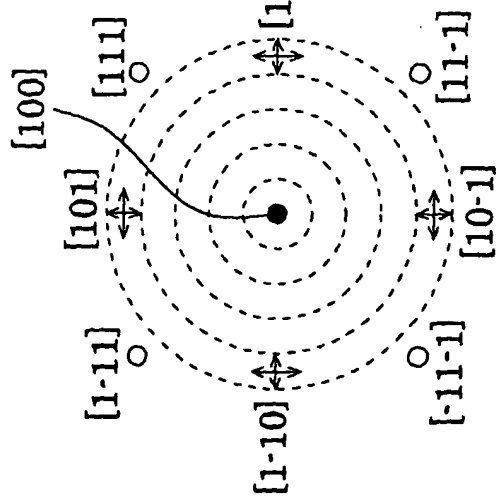
=

第 2 C 図

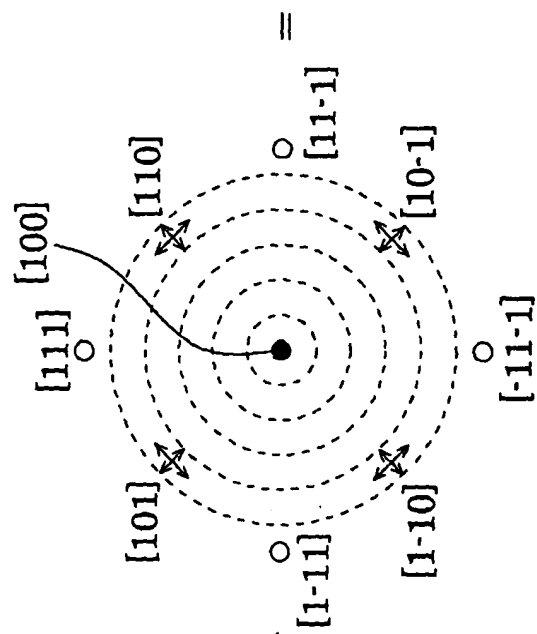


2 / 1 1

第 3 A 図

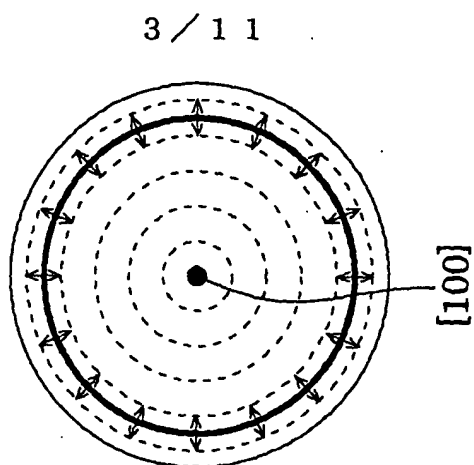


第 3 B 図



=

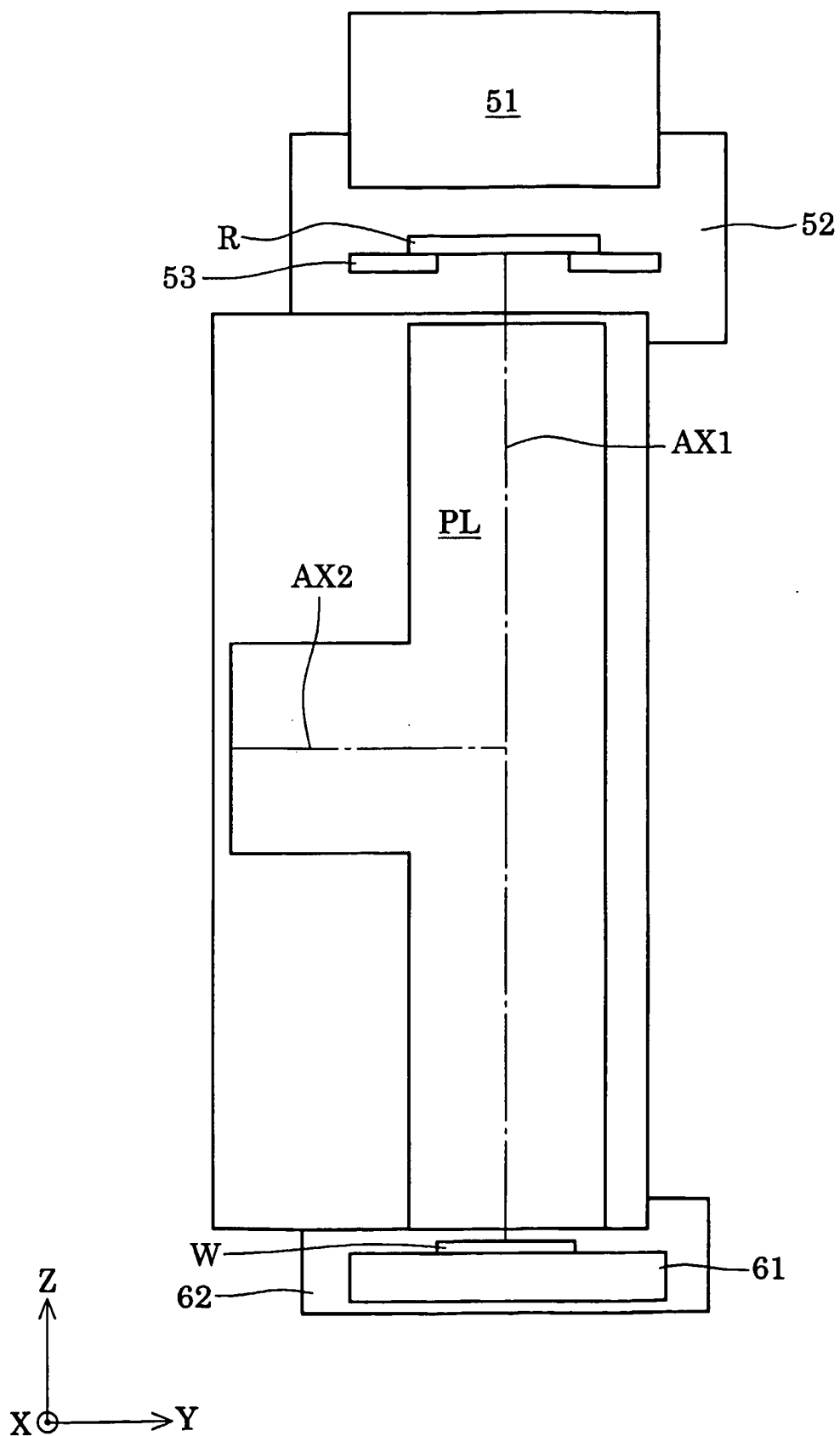
第 3 C 図



3 / 1 1

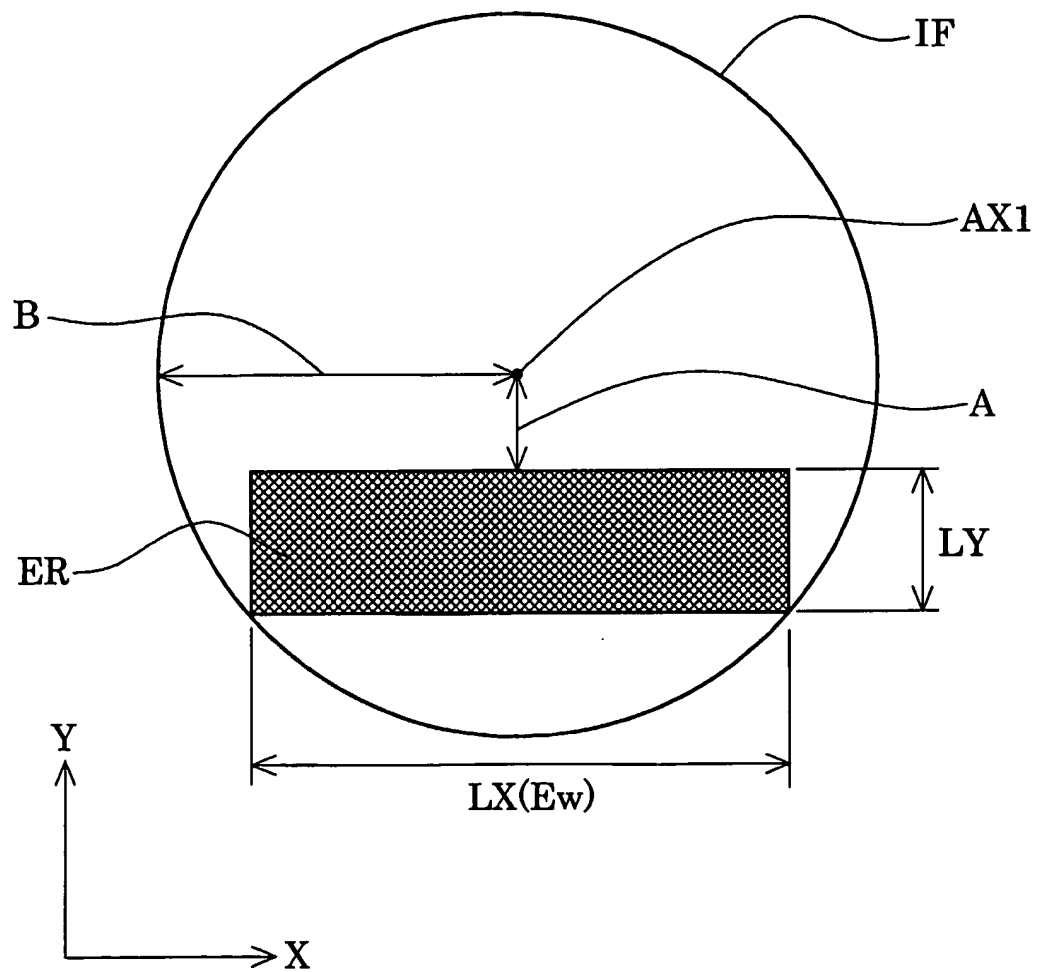
4 / 1 1

第 4 図



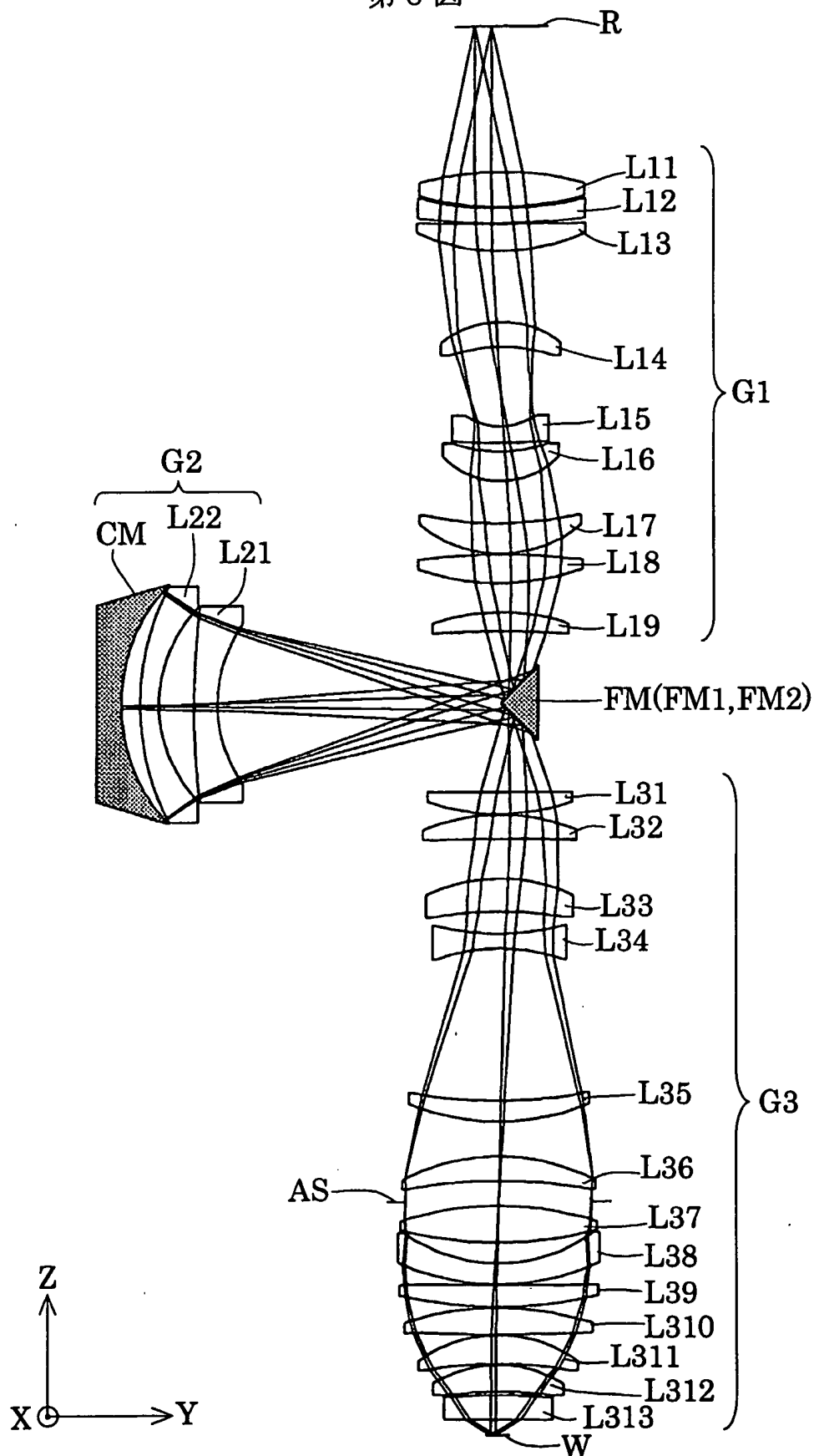
5 / 1 1

第 5 図



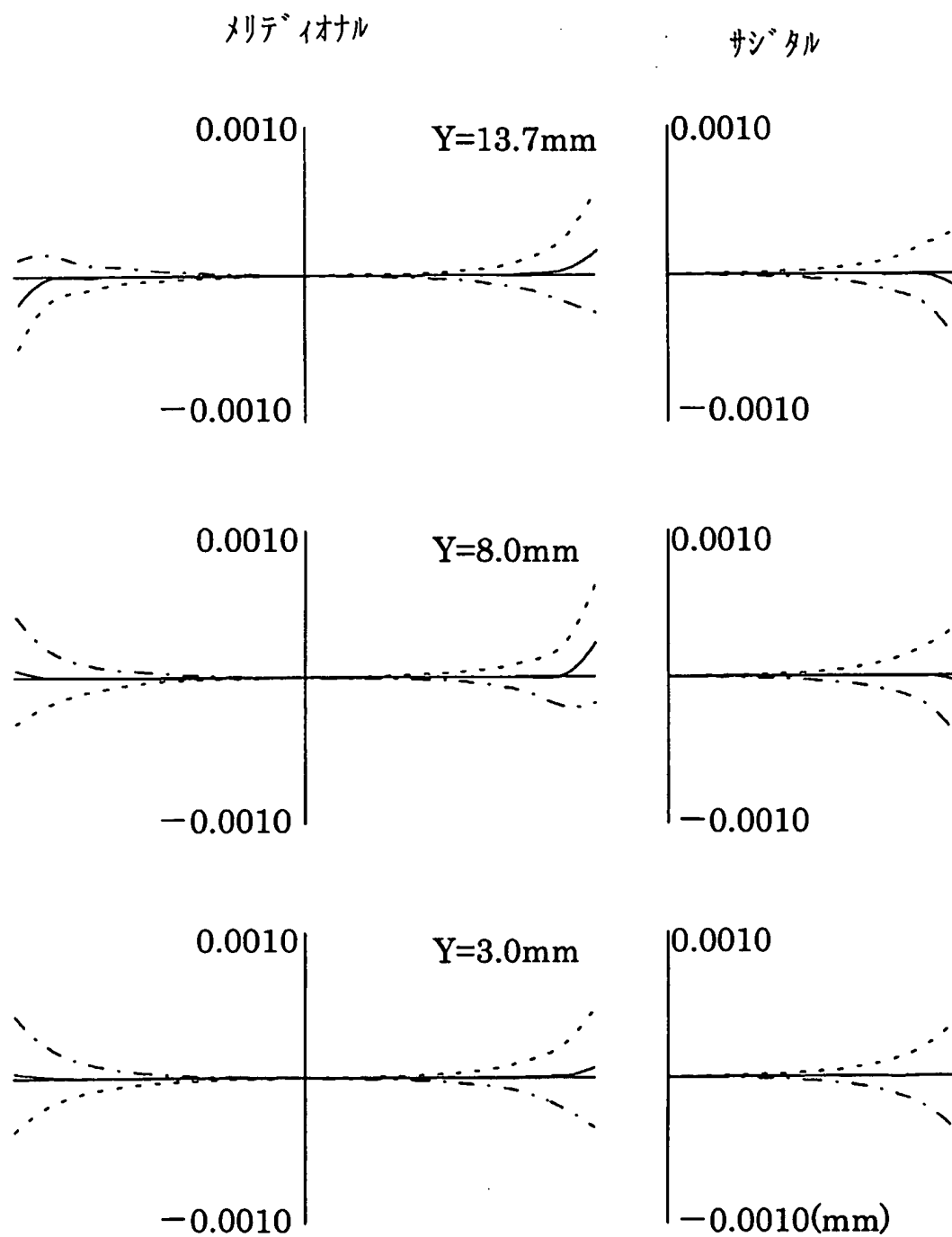
6 / 1 1

第 6 図



7 / 1 1

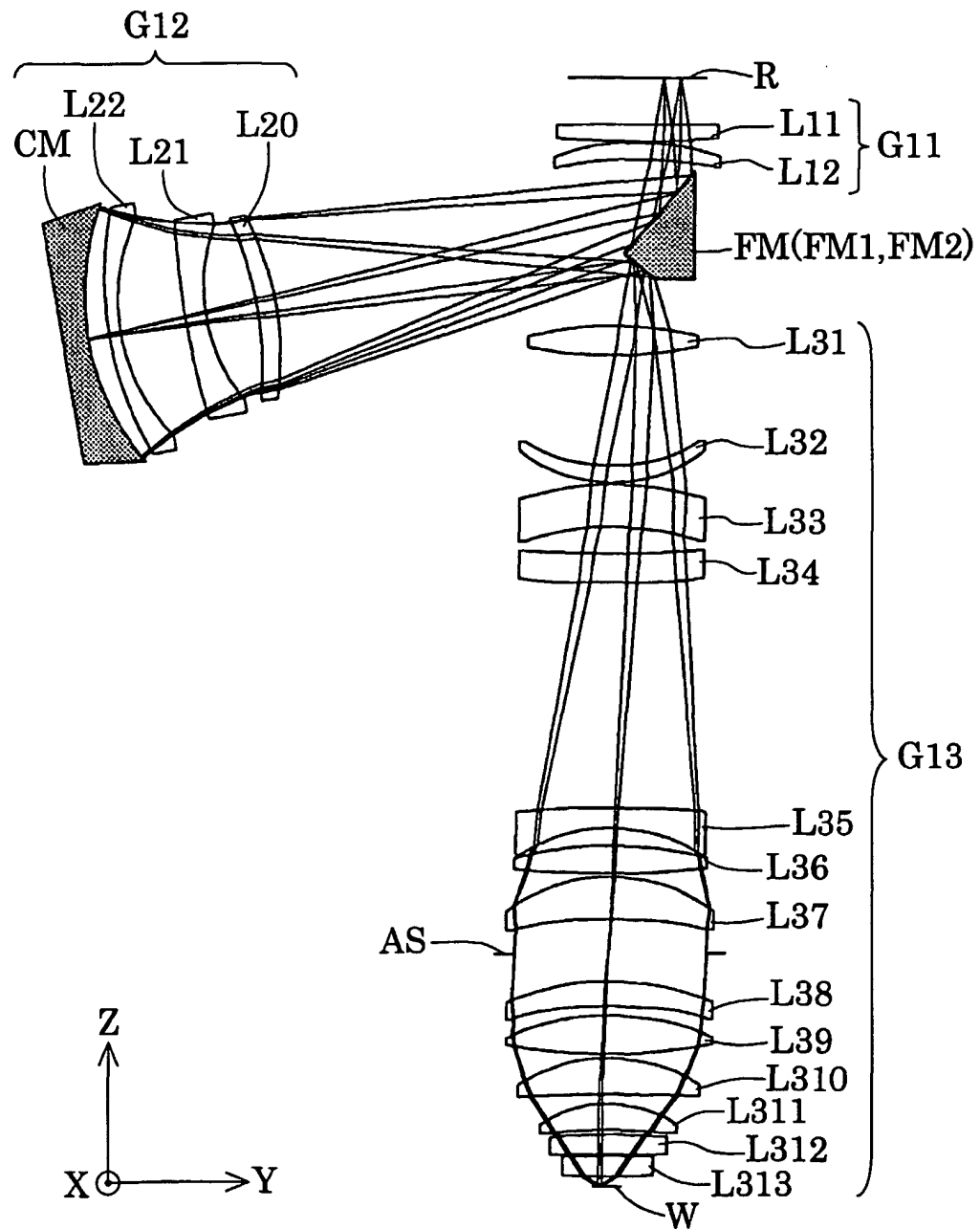
第 7 図



..... 157.601nm
———— 157.600nm
- - - - - 157.599nm

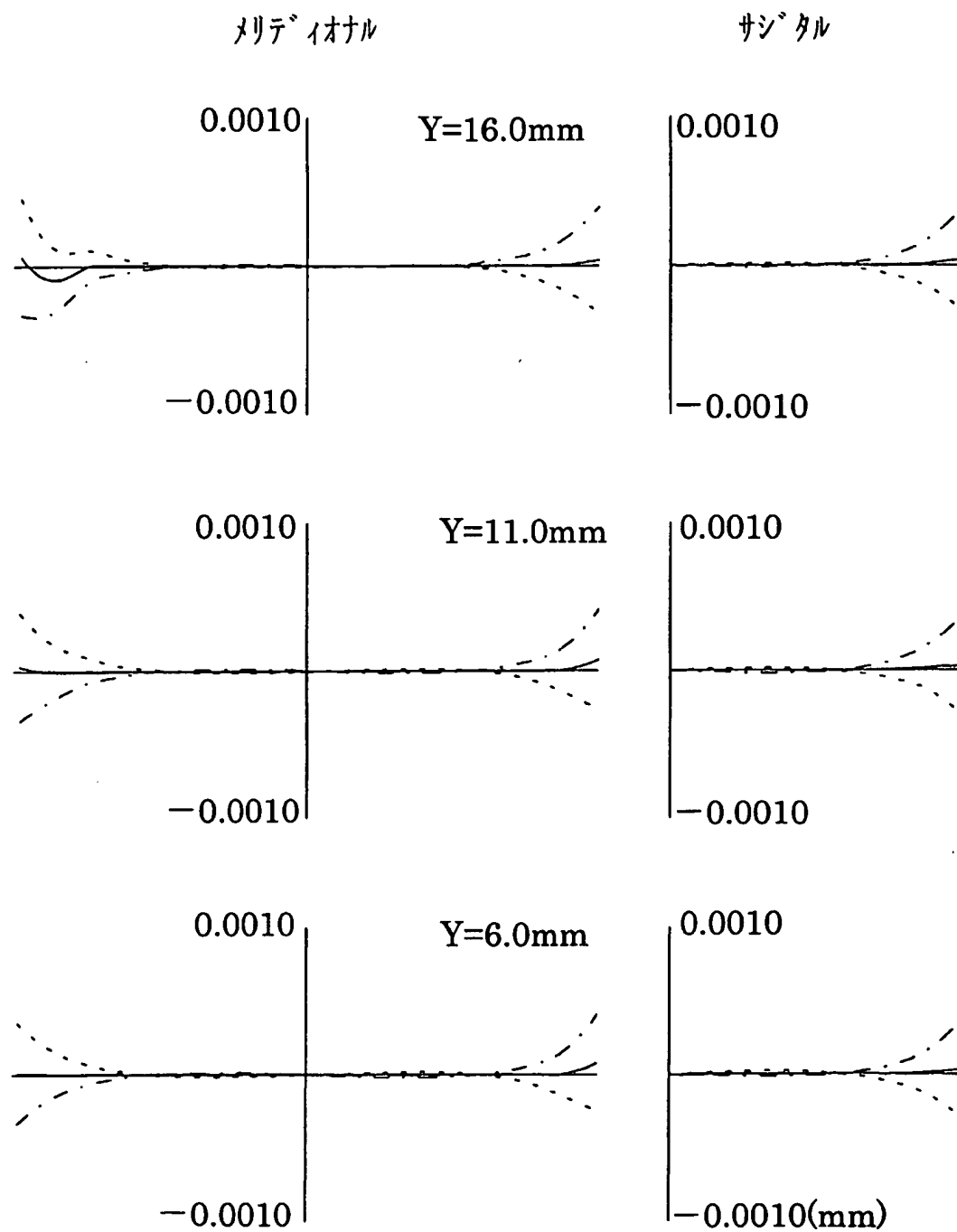
8 / 1 1

第 8 図



9 / 1 1

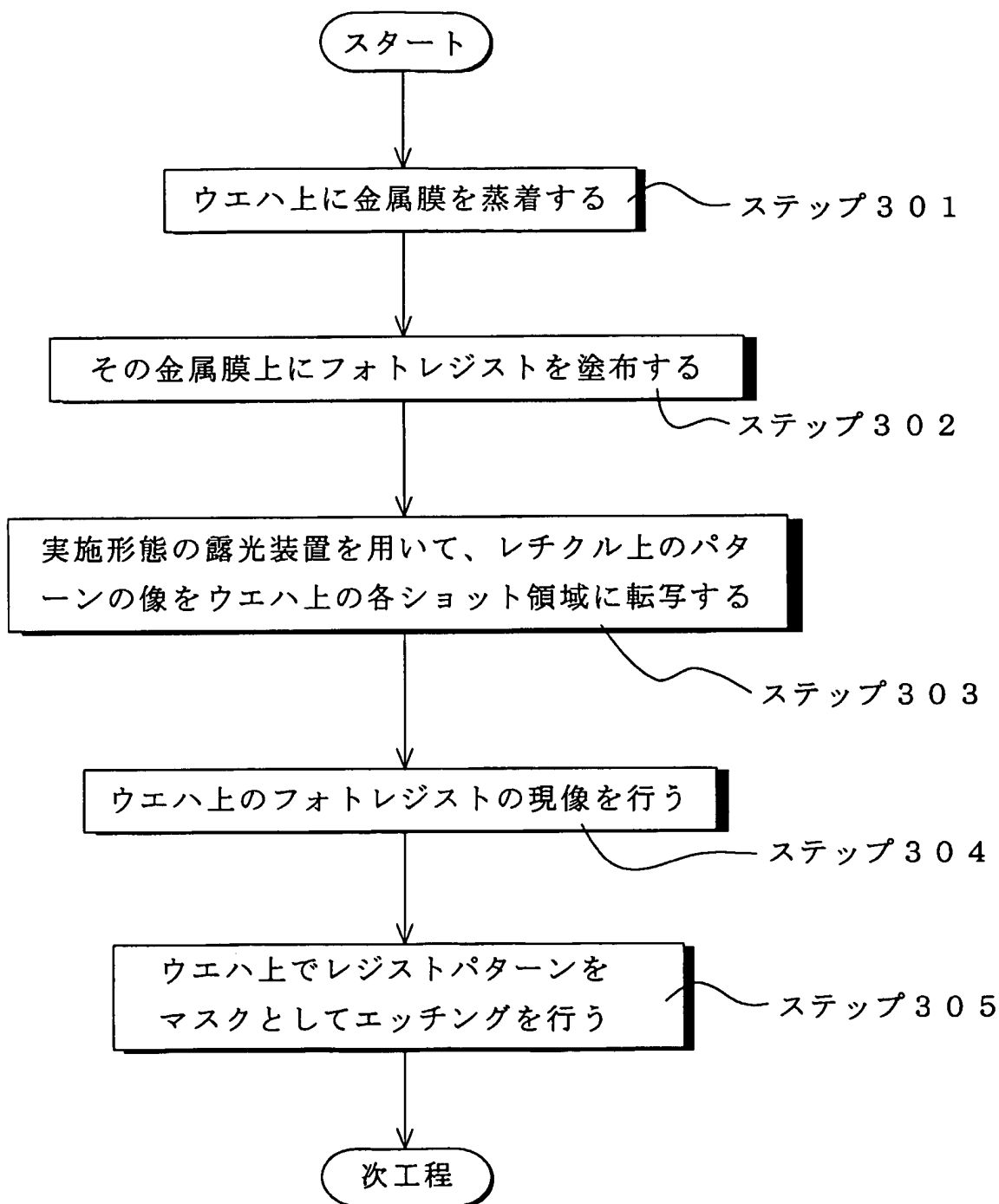
第 9 図



..... 157.601nm
——— 157.600nm
- - - 157.599nm

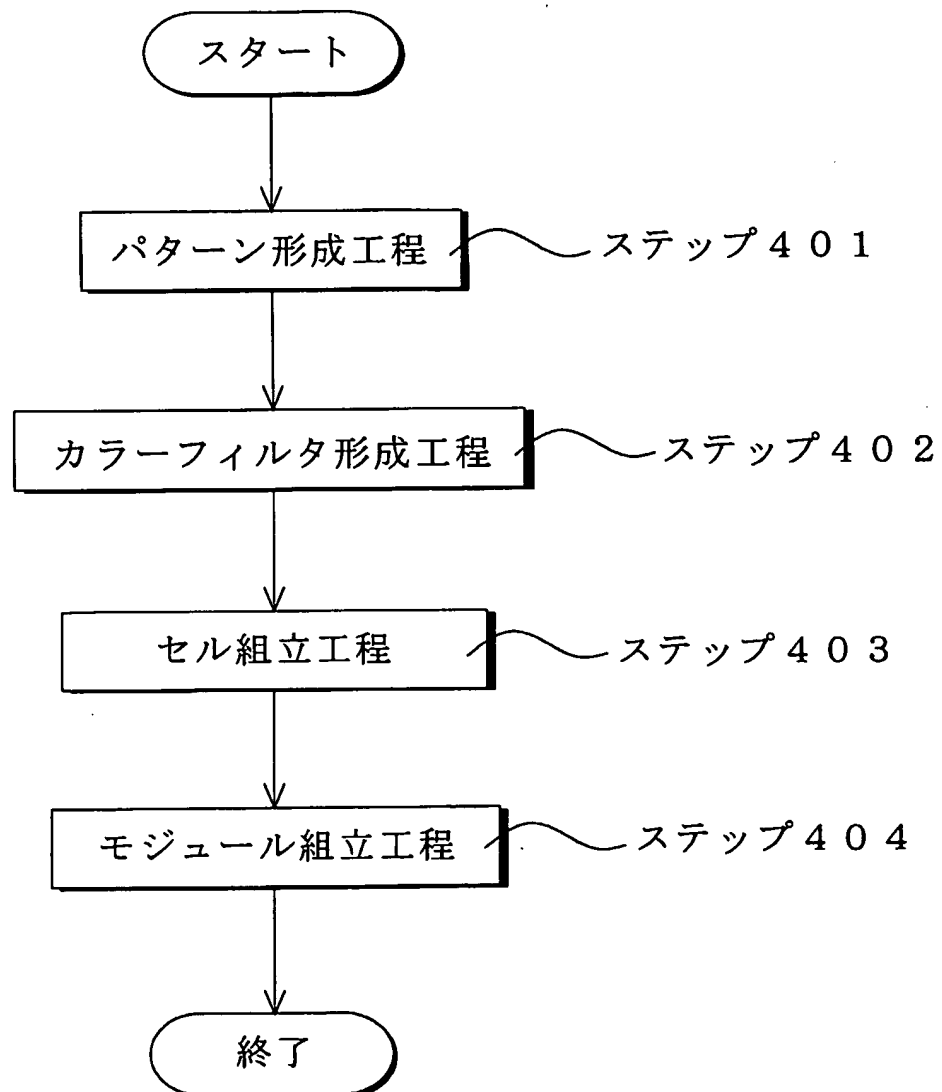
10 / 11

第10図



11 / 11

第 1 1 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10454

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B13/24, G02B13/14, G02B1/02, G02B17/08, H01L21/027,
G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B13/24, G02B13/14, G02B1/02, G02B17/08, H01L21/027,
G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	EP 942297 A2 (Nikon Corp.), 15 September, 1999 (15.09.99), Full text; all drawings & JP 11-326189 A & US 6201634 B1 & US 2001/0024314 A1 & US 6411384 B1	2, 4, 13-15 1, 3
X Y	JP 2000-128696 A (Nikon Corp.), 09 May, 2000 (09.05.00), Full text; all drawings; particularly, Par. No. [0026] & US 6201634 B1 & US 2001/0024314 A1 & US 6411384 B1	2, 4, 13-15 1, 3
Y	JP 11-21197 A (Canon Inc.), 26 January, 1999 (26.01.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 13-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 25 December, 2002 (25.12.02)	Date of mailing of the international search report 21 January, 2003 (21.01.03)
---	---

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10454

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	EP 1115019 A2 (CARL ZEISS), 11 July, 2001 (11.07.01), Full text; all drawings & JP 2001-221950 A & KR 2001062830 A & US 2002/0039175 A1	5,13-15 8-9,12 6-7,10-11
Y A	JP 7-72393 A (Nikon Corp.), 17 March, 1995 (17.03.95), Full text; all drawings (Family: none)	9,13-15 8
A	EP 1114802 A1 (Nikon Corp.), 11 July, 2001 (11.07.01), Full text; all drawings & WO 00/64826 A1	6-8,10-12
A	EP 1063684 A1 (Nikon Corp.), 27 December, 2000 (27.12.00), Full text; all drawings & WO 00/41226 A1 & AU 200018912 A & CN 1293822 A & KR 2001088279 A & US 6366404 B1 & US 2002/0085176 A1	6-8,10-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10454

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
(see extra sheet, "continuation of Box No. II")

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

1.The invention of claim 1 relates to a projection optical system comprising transparent members and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, and 70% or more of the transparent members satisfying the condition at both the entrance and exit surfaces $P_n/E_n < 0.7$

where P_n is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each transparent member made of the crystal and E_n is the effective diameter of each transparent member are so arranged that the optical axis of the transparent member substantially agrees with the crystal axis [100].

2.The invention of claim 2 relates to a projection optical system comprising transparent members and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, and 60% or more of all the transparent members satisfying the condition at both the entrance and exit surfaces $P_n/E_n < 0.9$

where P_n is the diameter of the light beam coming from a point on the first surface and falling on each surface of each transparent member made of the crystal and E_n is the effective diameter of each transparent member are so arranged that the optical axis of the transparent member substantially agrees with the crystal axis [111].

3.The invention of claim 3 relates to a projection optical system comprising transparent members and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, and

20% or more of all the transparent members made of the crystals are so arranged that the optical axis of the transparent member substantially agrees with the crystal axis [100] and have an effective diameter of 250 mm or less.

The invention of claim 4 is an invention of an independent claim referring to any of claims 1 to 3.

4.The invention of claim 5 relates to a projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second

surface and having and a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface, and the round-trip optical system comprises a first negative lens L21 made of the crystal and a second negative lens L22 made of the crystal and disposed in the optical path between the first negative lens L21 and the concave reflecting mirror and satisfies the condition

$$1.2 < D_{21}/D_{22} < 2.0$$

(continued to extra sheet)

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

where D21 is the center thickness of the first negative lens L21 and D22 is the center thickness of the second negative lens L22.

The inventions of claims 6, 7 are the ones of independent claims referring to claim 5.

5.The invention of claim 8 relates to a projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface, and the first lens group has two transparent members in which the preset directions of specific crystal axes are substantially different.

The invention of claim 9 relates to a projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface along the linear optical axis,

a first-order intermediate image of the first surface is formed in the optical path between the second and third lens groups, and the first lens group has at least two transparent members made of the crystals.

Claims 10-12 are independent ones referring to any of claim 8 or 9.

Claims 13-15 are independent ones referring to any of claims 1-12.

However, the technique of fabricating 90% or more of all the transparent members constituting a projection optical system from crystals of cubic system is publicly known without especially citing prior art documents, and there are no technical features considered to be special technical features common to the groups 1., 2., 3., and (4 and 5).

The projection optical system comprising transparent members and at least one reflecting mirror and adapted to form the image on a first surface on a second surface, characterized in that 90% or more of all the transparent members constituting the projection optical system are made of crystals of cubic system, the projection optical system further comprises a first lens group arranged in the optical path between the first and second surfaces, a first reflecting surface disposed in the (continued to extra sheet)

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

optical path between the first lens group and the second surface, a second lens group disposed in the optical path between the first reflecting surface and the second surface and having a concave reflecting mirror and a round-trip optical system, a second reflecting surface disposed in the optical path between the second lens group and the second surface, a third lens group disposed in the optical path between the second reflecting surface and the second surface is a conventionally known technique as disclosed in JP 2000-47114 A (Carl Zeiss Stiftung), 2000.02.18. Therefore, there are no common technical features considered to be special technical features among the groups 4. and 5.

Therefore, there are no common technical features among the groups of inventions within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence. Consequently, the groups of inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

Therefore, the groups of inventions do not comply with the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 13/24, G02B 13/14, G02B 1/02, G02B 17/08,
H01L 21/027, G03F 7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 13/24, G02B 13/14, G02B 1/02, G02B 17/08,
H01L 21/027, G03F 7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2002年
日本国登録実用新案公報 1994-2002年
日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	EP 942297 A2 (NIKON CORPORATION) 1999.09.15、全文、全図 & JP 11-326189 A & US 6201634 B1 & US 2001/0024314 A1 & US 6411384 B1	2, 4, 13-15 1, 3
X Y	JP 2000-128696 A (株式会社ニコン) 2000.05.09、全文、全図 、特に【0026】 & US 6201634 B1 & US 2001/0024314 A1 & US 6411384 B1	2, 4, 13-15 1, 3
Y	JP 11-21197 A (キヤノン株式会社) 1999.01.26、全文、全図 (ファミリーなし)	1-4, 13-15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.12.02

国際調査報告の発送日

21.01.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森内 正明



2V 9222

電話番号 03-3581-1101 内線 3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	EP 1115019 A2 (CARL ZEISS) 2001.07.11、全文、全図 & JP 2001-221950 A & KR 2001062830 A & US 2002/0039175 A1	5, 13-15 8-9, 12 6-7, 10-11
Y A	JP 7-72393 A (株式会社ニコン) 1995.03.17、全文、全図 (ファミリーなし)	9, 13-15 8
A	EP 1114802 A1 (NIKON CORPORATION) 2001.07.11、全文、全図 & WO 00/64826 A1	6-8, 10-12
A	EP 1063684 A1 (NIKON CORPORATION) 2000.12.27、全文、全図 & WO 00/41226 A1 & AU 200018912 A & CN 1293822 A & KR 2001088279 A & US 6366404 B1 & US 2002/0085176 A1	6-8, 10-12

第 I 欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第 1 ページの 2 の続き)

法第 8 条第 3 項 (PCT 17 条 (2) (a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であって PCT 規則 6.4(a) の第 2 文及び第 3 文の規定に従って記載されていない。

第 II 欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第 1 ページの 3 の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページ 第 I I 覧の続きを参照

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第 I I 欄の続き

1. 請求の範囲 1 の発明は、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n/E_n < 0.7$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数を 70% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系の発明である。

2. 請求の範囲 2 の発明は、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第 1 面上の 1 点から出た光束が前記結晶で形成された結晶透過部材の各面に入射するときの光束の直径を P_n とし、前記結晶透過部材の有効直径を E_n とするとき、

$$P_n/E_n > 0.9$$

の条件式を入射面および射出面の双方において満足する結晶透過部材の総数を 60% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[111]$ とがほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系の発明である。

3. 請求の範囲 3 の発明は、複数の透過部材を含み、第 1 面の像を第 2 面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、

前記結晶で形成された結晶透過部材の総数の 20% 以上の数の結晶透過部材は、その光軸と結晶軸 $[100]$ とがほぼ一致するように配置され、且つ 250 mm 以下の有効直径を有することを特徴とする投影光学系の発明である。

また、請求の範囲 4 は、前記請求の範囲 1 乃至 3 のいずれかを引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

4. 請求の範囲 5 の発明は、複数の透過部材と少なくとも 1 つの反射鏡とを含み、第 1 面の像を第 2 面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 レンズ群と、前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 1 反射面と、前記第 1 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第 2 レンズ群と、前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 2 反射面と、前記第 2 反射面と前記第 2 面との間の光路中に配置された第 3 レンズ群とを備え、前記往復光学系は、前記結晶で形成された第 1 負レンズ L_{21} と、前記結晶で形成されて前記第 1 負レンズ L_{21} と前記凹面反射鏡との間の光路中に配置された第 2 負レンズ L_{22} とを有し、前記第 1 負レンズ L_{21} の中心厚を D_{21} とし、前記第 2 負レンズ L_{22} の中心厚を D_{22} とするとき、

$$1.2 < D_{21}/D_{22} < 2.0$$

の条件式を満足することを特徴とする投影光学系の発明である。

また、請求の範囲 6 及び 7 は、前記請求の範囲 5 のいずれかを引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

5. 請求の範囲 8 の発明は、複数の透過部材と少なくとも 1 つの反射鏡とを含み、第 1 面の像を第 2 面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の 90% 以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第 1 面と前記第 2 面

との間の光路中に配置された第1レンズ群と、前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に配置された第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ群は、ある特定の結晶軸の設定方向が実質的に異なる2つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系の発明である。

請求の範囲9の発明は、複数の透過部材と少なくとも1つの反射鏡とを含み、第1面の像を第2面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された第1レンズ群と、前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に直線上の光軸に沿って配置された第3レンズ群とを備え、

前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間の光路中に前記第1面の一次中間像が形成されるように構成され、前記第1レンズ群は、前記結晶で形成された少なくとも2つの透過部材を有することを特徴とする投影光学系の発明である。

また、請求の範囲10乃至12は、前記請求の範囲8または9のいずれかを引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲13乃至15は、前記請求の範囲1乃至12のいずれかを引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

しかしながら、投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成する技術自体は特に先行技術文献を提示するまでもなく、従来周知の技術であり、上記、発明の群1.、2.、3.と(4.及び5.)の群の間では、発明の特別な技術的特徴として共通するものは存在していない。

また、複数の透過部材と少なくとも1つの反射鏡とを含み、第1面の像を第2面上の形成する投影光学系において、前記投影光学系を構成する透過部材の総数の90%以上の数の透過部材が立方晶系に属する結晶で形成され、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された第1レンズ群と、前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第1反射面と、前記第1反射面と前記第2面との間の光路中に配置されて凹面反射鏡と往復光学系とを有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置された第2反射面と、前記第2反射面と前記第2面との間の光路中に配置された第3レンズ群とを備えた投影光学系自体も、JP 2000-47114 A (カール・ツアイス・スティフツング) 2000.02.18

に記載されているように従来から知られている技術であるので、発明の群4.及び5.の群の間でも、発明の特別な技術的特徴として共通するものは存在していない。

よって、上記発明の群との間において、PCT規則13.2、第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる共通事項は存在してなく、前記発明の群同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群の発明であるとはいえない。

したがって、前記発明の群同士は、単一性を満足する関係であるとはいえない。